técnica

377 associação dos estudantes do instituto superior técnico
abril 1968 revista de engenharia

HELIAÇO

VARÕES DE AÇO DE ALTA RESISTÊNCIA PARA BETÃO ARMADO TIPO A. 40
(«Heliaço» e «SNT 40»)

TENSÕES DE SEGURANÇA
Ra = 2400 kg/cm²
e
Ra = 4000 kg/cm² (SISMOS)

Literatura e Tabelas de Cálculo fornecidas gratuitamente

HELIAÇO, LDA.

R. DE S. JULIÃO, 41, 4.º D. — LISBOA

Tel.: 36 78 17 - 32 37 06 - 36 94 77

Fenner

REDUTORES DE VELOCIDADE

TIPO «PONTA DE VEIO»

mais de cem anos de progresso dos maiores fabricantes ingleses

REPRESENTANTES EXCLUSIVOS:

AUTO-LUSITANIA
ALFREDO DUARTE L.da
AV. DA LIBERDADE 73-77 LISBOA

confiança para a construção com

materiais novobra

pavimentos
em betão pré-esforçado
(homologados pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil)

SOCIEDADE DE PRÉ-FABRICAÇÃO E OBRAS GERAIS NOVOBRA, LDA.
AV. EST. UNIDOS DA AMÉRICA, 100 - 5.º D.º - TEL. 774832 / 771603 - LISBOA 5

CIMENTO SECIL

SECIL

Fábrica:

Outão — Setúbal

Telef. 228824/5

Escritório:

R. do Comércio, 56-3.º

LISBOA 2

Telef. 328201/2/3

técnica

NUMERO 377 ABRIL DE 1968 ANO XLIII VOLUME XXX PUBLICAÇAO MENSAL

Director
Vítor M. M. Pinto

Administrador
Vítor Coias e Silva

Redactores
Ana Maria Sobral
A. J. Tavares Pires
J. C. Alves da Silva
João M Pereira

Editor e Proprietário
Associação dos Estudantes do Instituto Superior Técnico

Redacção e Administração
Avenida Rovisco Pais
Telefone 77 54 49
Lisboa 1

Assinaturas

		5 N.os	10 N.os
Continente e Ilhas	—	70$00	130$00
Ultramar, Brasil e Espanha	—	80$00	140$00
Estrangeiro	—	90$00	150$00

Número avulso — 20$00

Não se publica em Agosto e Setembro.

Os artigos assinados são da exclusiva responsabilidade dos seus autores.

Composto e impresso na Tipografia Jorge Fernandes, Lda. — Rua da Cruz dos Poiais 103 — Lisboa

SUMÁRIO

381 *JOÃO FIGANIER* — **Relação entre a estrutura da troposfera e a propagação para além do horizonte.**

Relation between the structure of troposphere and the transmission beyond the horizon.

393 *J. M. MADEIRA COSTA* — **Dimensionamento à flexão simples, de secções de betão armado, em relação à rotura.**

Simple bending ultimate design of reinforced concrete sections.

401 *MARIA J. SILVÉRIO e MARIA DE L. FREIRE* — **Determinação complexométrica do cálcio e do magnésio em dolomites.**

Complexometric determination of calcium and magnesium in dolomites.

409 *JOSÉ FOLQUE* — **Anotações sobre barragens de terra.**

Notes on earth dams.

431 *FERNANDO SOBRAL* — **Explosivos de nitrato de amónio e fuel-oil (ANFO).**

Amonium nitrate and fuel-oil explosives.

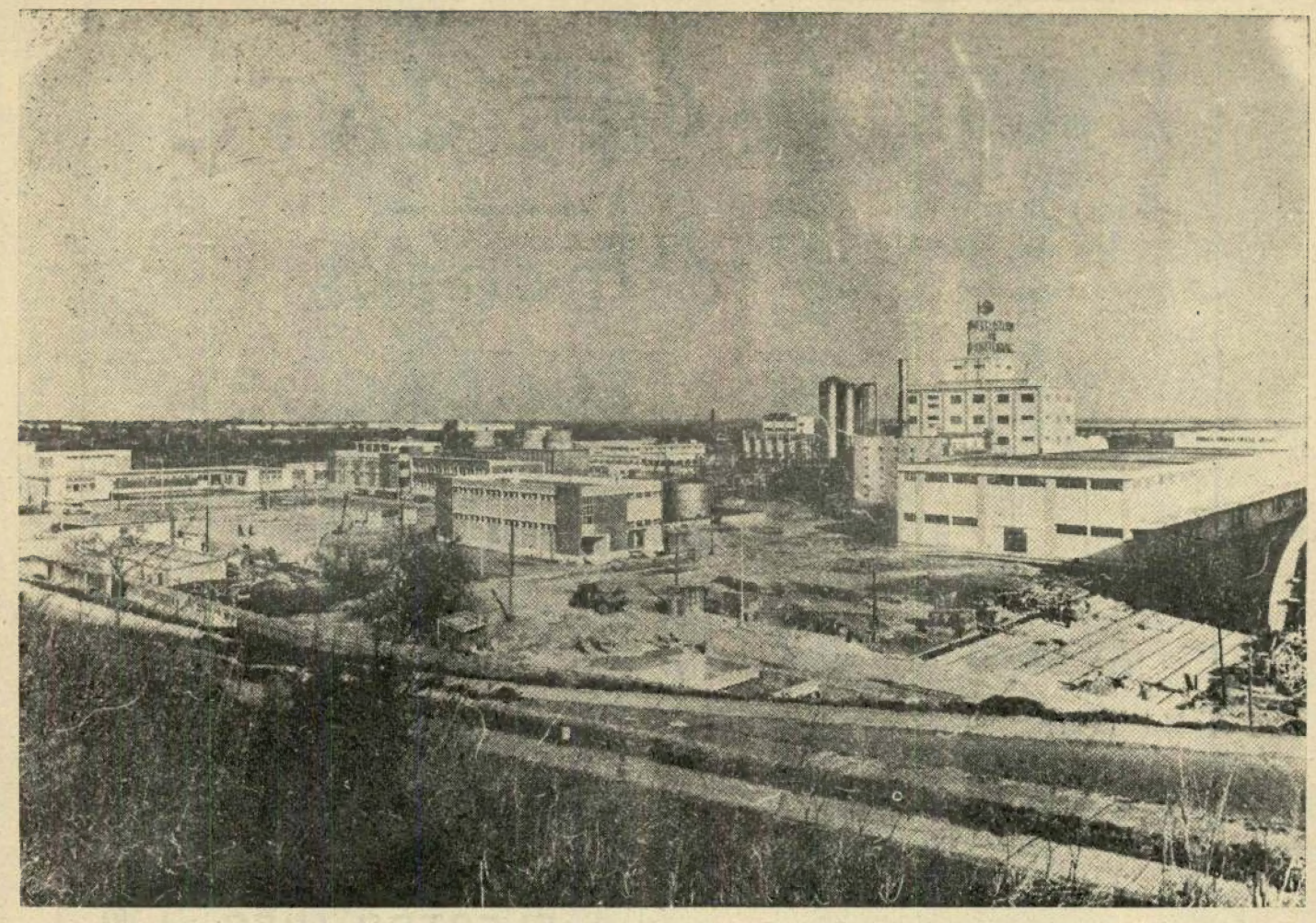
408 **Notas Informativas**

Elementos sobre a produção e o consumo de energia na rede eléctrica nacional.

CAPA: Um aspecto da divisão de semi-condutores da Standard Eléctrica em S. Gabriel — Cascais.

ÍNDICE ALFABÉTICO DOS ANUNCIANTES

	Pág.
A. Johnson & Co (Portugal), Ltd.	XXVIII
AEG	XIX
Aguiar e Melo, Lda.	XXVII
Asea Eléctrica	V, VII, XXIX e XXXI
Auto-Lusitânia	2.ª da capa
Cerâmica de Vale de Lobos, Lda.	XVIII
Cimento Secil	2.ª da capa
Companhia de Cimentos Brancos	VI
Companhia União Fabril	XXII
Construções Técnicas	XV
Dial	XVIII
Electro-Arco, Ltd.ª	IV
Empresa de Cimentos de Leiria	XXX
Empresa Electro Cerâmica	XXIX
Empresa de Produtos Asfálticos	X
Empresa de Sondagens e Fundações Teixeira Duarte, Lda.	3.ª da capa
Empresa Técnica de Equipamentos Eléctricos	XI
Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações	XVI
Fanafel	XVI
Fundações Franki, Lda.	I
Guedal	XVIII
Guedes & Almeida, Lda.	XXXII
Harker Sumner	XX
Heliaço	2.ª da capa
Instron	VIII
I. S. T.	XXVI
Isoluz	XXII
J. J. Silva & Irmão	V
J. F. Azevedo e Silva	IV
J. Roma	VII
Jayme da Costa, Lda.	XVII
Johann Keller	V
LUSOTECNA	XIV
MAGUE	XIII
Novobra, Lda.	2.ª da capa
Rotring	XXVI
Siemens	XXI
Soc. Const. Amadeu Gaudêncio	XXVI
Soc. Brown Boveri	4.ª da capa
Soc. Michaelis de Vasconcelos	XII
Sociedade Portuguesa Cavan	VI
Sondagens e Fundações A. Cavaco	II
Sondagens Ródio, Lda.	VII
Sopecate	II
Standard Eléctrica	IX
STET	XXIII
Tudor	XXXI
Wild Portugal, Lda.	III



Nitratos de Portugal - Alverca

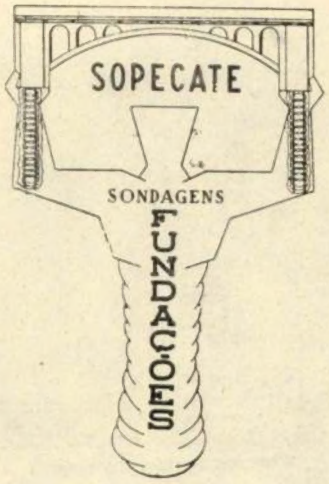
Assente sobre Estacas FRANKI

FUNDAÇÕES FRANKI L.DA

RUA BRAAMCAMP, 13-3.º — LISBOA 1 — TEL. P. P. C. 53 41 12/3/4 — ENDEREÇO TELEGRÁFICO: FRANKI — LISBOA

PRÉDIO SANTOS GIL, 6.º ANDAR — SALA 10 — TEL. 9 11 67 — CAIXA POSTAL 1397

ENDEREÇO TELEGRÁFICO: FRANKI—LOURENÇO MARQUES



SOPECATE

SONDAGENS
FUNDAÇÕES

Escritório — R. DO ARSENAL, 146, 2.º Esq., Dt.º e Fr.te
Estaleiro e Oficina — RUA PEREIRA HENRIQUES, 58

TELEFONES
SERVIÇOS ADMINISTRATIVOS 34010
SERVIÇOS TÉCNICOS 320208
ESTALEIRO E OFICINAS 381238

LISBOA

• ESTUDOS, PESQUISAS E CAPTAÇÕES DE ÁGUA

• SONDAGENS

• REBAIXAMENTO DE NÍVEIS AQUÍFEROS

• FUNDAÇÕES

SONDAGENS E FUNDAÇÕES A. CAVACO, LDA.

R. RODRIGO DA FONSECA, 62, R/C ESQ. — LISBOA-1
- TELEF. 56 11 71/72/73

ELECTRO-ARCO, L.DA

ELÉCTRODOS ✦ POSTOS ✦ ACESSÓRIOS
PARA A SOLDADURA ELÉCTRICA

*

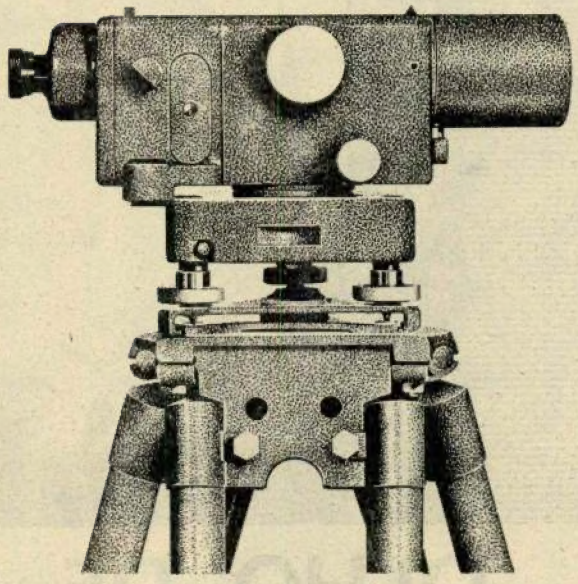
MATERIAL APROVADO PELOS
LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING
BUREAU VERITAS
GERMANISCHER LLOYD

LISBOA
Rua Silva Carvalho, 239
Tels. 68 36 49 - 68 48 93
FÁBRICA E LABORATÓRIOS
Venda Nova — Amadora
Tels. 97 06 13 - 97 17 33
PORTO
Rua do Bolhão, 216
Tel. 2 12 77 - 39 44 73

O novo Nível automático de engenheiro

WILD NAK 2

com círculo horizontal



WILD
HEERBRUGG

Para nivelamentos de média e grande precisão; com micrómetro de lâmina de faces plano-paralelas para nivelamentos de grande precisão.

Erro médio para 1 Km de nivelamento duplo: ± 1,5 mm

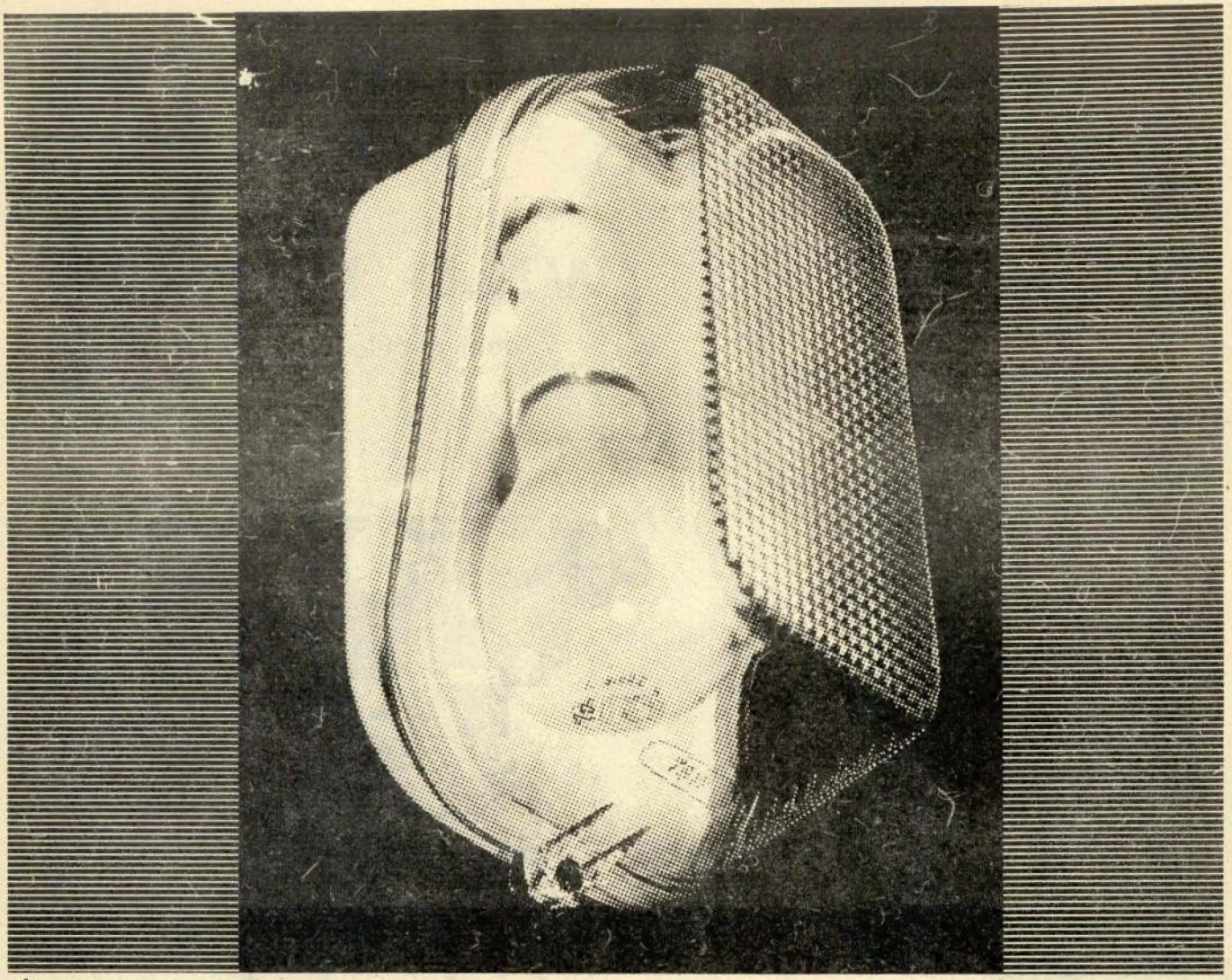
Erro médio para 1 Km de nivelamento duplo com micrómetro: ± 0,4 mm

Luneta de 30 × de aumento com imagem direita de observação

Solicitem catálogo ou demonstração aos representantes exclusivos

WILD PORTUGAL, LDA.

PRAÇA DAS ÁGUAS LIVRES, 8
LISBOA - 2 — TELEFONE 68 91 12



Impar

OLHO DE BOI

JF SAREL

TIPO 421-E 75W

Armadura «olho de boi» estanque, com caixa em chapa e difusor em plástico inquebrável translúcido, equipada com casquilho E 27, com uma entrada para bucim, com 21 mm de diâmetro.

Articulação do difusor em charneira superior, e fecho com parafuso de aperto.

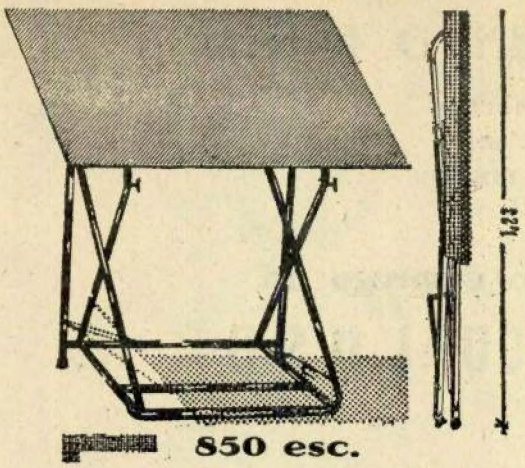
Vedação com anel de borracha.

Para lâmpadas até 75 W.

JF

J. F. DE AZEVEDO E SILVA & C.ª, L.DA

Rua S. Francisco Sales, 2 Telef. 654165 · Lisboa-1



850 esc.

CARACTERÍSTICAS: Tubo de aço, articulado em qualquer posição, várias inclinações, fàcilmente transportável, não ocupa espaço quando fechado, prancheta de 1,20 × 0,80 de madeira, em tola. Pintura de estufa.

Em exposição, outros modelos de madeira e metálicos e todo o material de consumo e equipamento de desenho, escritório e papelaria

Distribuidores exclusivos, em Lisboa, do estirador de ***Fábrica Olaio***

J. J. SILVA & IRMÃO, LDA.

rua silva carvalho 232-b · lisboa · telefone **652750 / 680671**

O EMPREGO DO CIMENTO BRANCO...

permite acabamentos mais perfeitos, mais duradouros e muito mais económicos

Estude a vantagem do emprego do

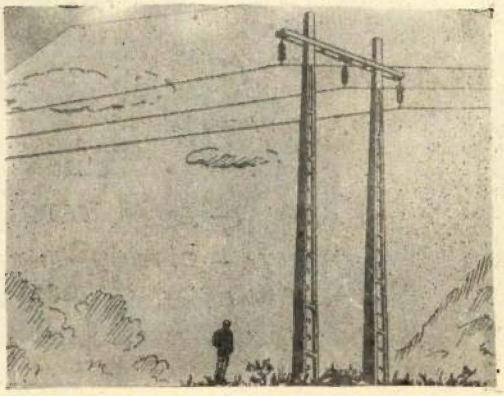
CIMENTO BRANCO LUSO

Consulte os distribuidores gerais

No Sul: **SCIAL** — T. do Corpo Santo, 15 — Telef. 66 61 86 — Lisboa
No Norte: **SCIAL** — R. do Bonjardim, 205 — Telef. 2 5779 — Porto

POSTES DE BETÃO PARA LINHAS ELÉCTRICAS
MOSAICOS E AZULEJOS
COLUNAS PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA
MANILHAS PARA ESGOTOS

SOCIEDADE PORTUGUESA **Carvam**



RUA D. ESTEFÂNIA, 94-A-LISBOA-1 -TELEF. 47812-50129

• SOLDADURA ELÉCTRICA

• MATERIAL DE PROTECÇÃO

Aparelhagem de medidas eléctricas

- indicadora
- reguladora
- registadora

J. ROMA, L.DA

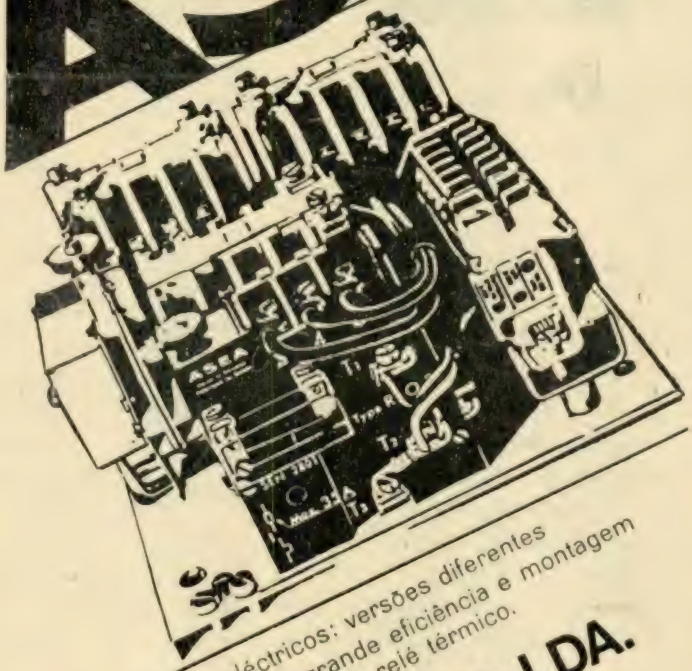
P. da Figueira, 12, 1.º — P. do Município, 309-6.º S 3

LISBOA Tel. 865151 — PORTO Tel. 0236732

MARCA · A.E.2

Uma força criadora no domínio da electricidade

Arrancadores ASEA



Para motores eléctricos: versões diferentes de arrancadores de grande eficiência e montagem fácil, com temporizador e relé térmico.

ASEA ELÉCTRICA LDA.

Estrada do Prior Velho
Tel. 251101*
SACAVÉM

R. do Campo Alegre, 144
Tel. 62106/7
PORTO

SONDAGENS RÓDIO, L.DA

LISBOA

RUA DE S. BENTO, 644 - 3.º

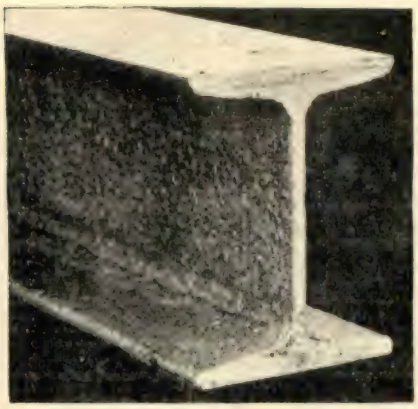
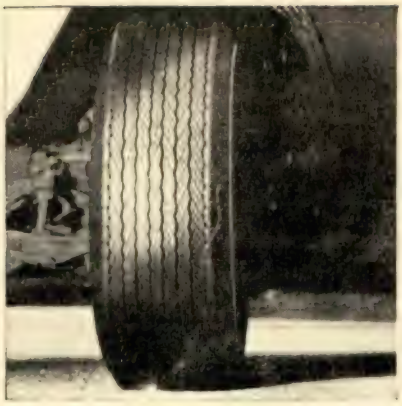
Telefones: 68 80 96/7/8 ✦ Telegramas: SETANSOL

RODIO

SONDAGENS GEOLÓGICAS
ESTUDOS GEOTÉCNICOS
ESTACAS GUNITA
CAPTAÇÃO DE ÁGUAS
CONGELAÇÃO DO TERRENO
IMPERMEABILIZAÇÃO DE OBRAS HIDRÁULICAS
CONSOLIDAÇÃO DE FUNDAÇÕES
ABAIXAMENTO DO LENÇOL DE ÁGUA

—//—

Engenheiro Consultor: **Walter Weyermann**

Faça ensaios de qualquer material — Instron dir-lhe-á o que há a saber

Faça ensaios de qualquer material desde um pedaço de aço a uma fatia de carne de porco, para pesquisa, melhoramento ou controle da qualidade e o Instrumento de Ensaio Universal Instron dar-lhe-á informações completas e rigorosas acerca das suas propriedades mecânicas. Baseado em princípios electrónicos e num servo-mecanismo para o controle e medição das forças das amostras de ensaio, o Instrumento de Ensaio Instron realizará todos os ensaios convencionais de tensão, compressão e flexão e lançará nova luz sobre uma variedade mais subtil de características incluindo histerese cíclica, afrouxamento e recuperação de tensão, grau de sensibilidade ao esforço e energia da deformação e rotura.

Com três modelos básicos aplicando cargas de 0 a 2 gramas a 0 — 25.000 Kg. em escala completa, com uma grande variedade de acessórios há certamente um sistema Instron para satisfazer as suas necessidades.

Literatura completa à disposição, incluindo muitos estudos especiais. Por favor, queira enviar o talão para informações completas.

Instron Ltd.
Halifax Road, High Wycombe,
Bucks, Inglaterra.

NOME _____

FIRMA _____

MORADA _____

ASSUNTO (*Queira fazer o favor de indicar os materiais em que está especialmente interessado*).

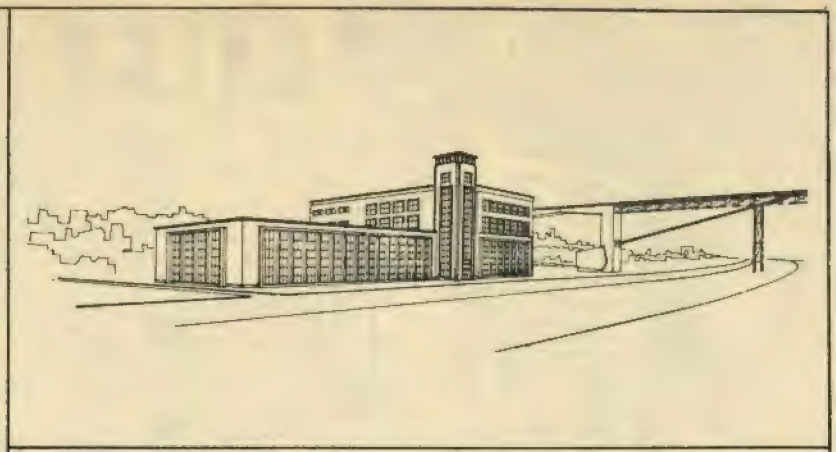
_____

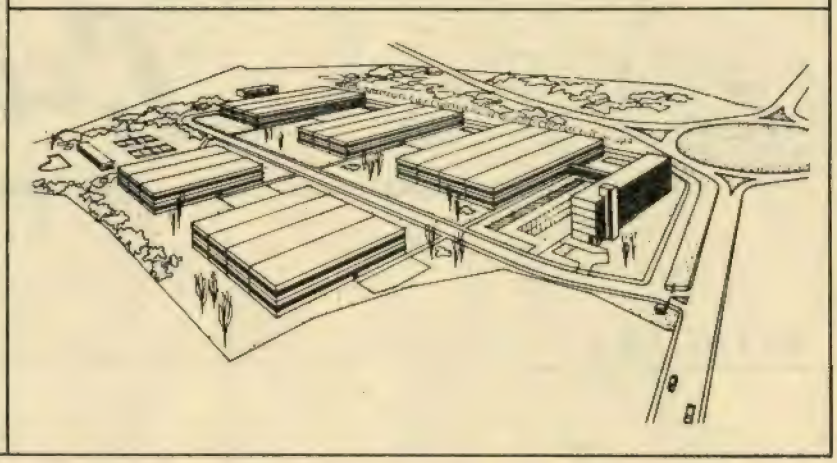
_____

_____

TA

INSTRON





O CRESCIMENTO COMO FACTOR DE DESENVOLVIMENTO

Tal como as árvores, quando bem cuidadas, criam raízes, crescem, ramificam-se e dão bons frutos, assim as empresas, quando bem dirigidas, definem uma posição, desenvolvem-se, diversificam as suas actividades e lançam nos mercados produtos de alta qualidade.

A Standard Eléctrica, pioneira da indústria das Telecomunicações e Electrónica em Portugal, que em 1932 não dispunha de mais de uma escassa dezena de empregados, conta hoje com mais de 2200 pessoas nas suas fábricas de Lisboa, Cascais e Luanda. O ritmo de crescimento e expansão tem sido de tal modo elevado que o volume de vendas passou de 30 000 contos em 1957 para 300 000 em 1967, prevendo-se que em 1970 a produção total da Standard Eléctrica atinja o valor de 1 500 000 contos, dos quais 1 000 000 se destinam à exportação.

A Standard Eléctrica é, pois, um valor positivo na indústria nacional, que tem como base o elevado nível técnico e profissional e ainda o magnífico esforço de todos os que nela trabalham.

Standard Eléctrica **ITT**

FRIO CALOR

Celulite

O material mais usado no isolamento térmico das construções

SETH, LDA. · Rua Filipe Folque, 10-1.º · Lisboa · Tel. 53 01 56

PARA COLAGEM DE TACOS DE MADEIRA USE:

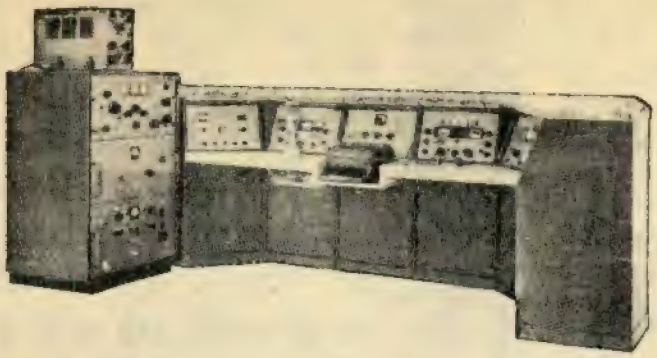
EMPRESA DE PRODUTOS ASFÁLTICOS
IMEPA
IMPERMEABILIZADOR

EMPRESA DE PRODUTOS ASFÁLTICOS
BRANQUEPA
COLAS BRANCAS

Também próprio para: impermeabilizar terrenos, paredes, fundações, etc.

FÁBRICA EM SACAVÉM

RUA FILIPE FOLQUE-10 1º— LISBOA
TELEF. 53 01 56 —TELEG EPALDA-LISBOA



Comunicações

equipamentos
e sistemas completos

- Cuidadosamente projectados
- Amplamente experimentados
- Completamente integrados

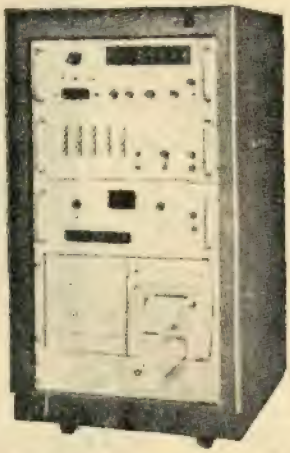
THE TECHNICAL MATERIEL CORPORATION

HEWLETT hp PACKARD

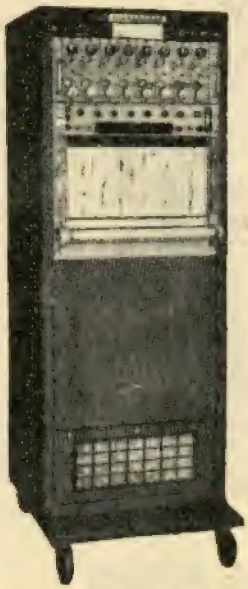
aparelhagem electrónica de medida e registo

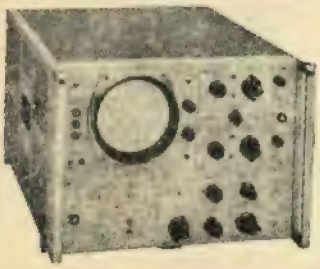
Osciloscópios, Oscilógrafos, Voltímetros electrónicos, Geradores de sinal, Contadores electrónicos, Registadores digitais, Fontes de alimentação

Registador digital Dymec



Registador Sanborn





Osciloscópio HP

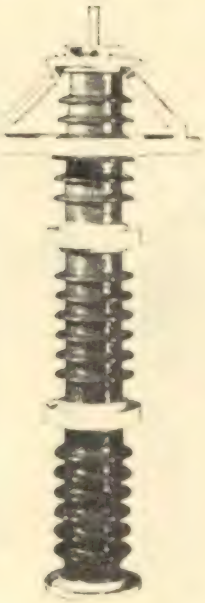
Contador Electrónico HP

TELECTRA EMPRESA TECNICA DE EQUIPAMENTOS ELECTRICOS, S.A.R.L.

Os pára-raios Oerlikon... ... estão na vanguarda do progresso e protegem instalações em todo o mundo

Corrente de descarga 5 kA

RV
380 & 500 V



Descarga de longas linhas em vazio, protecção de postos completos, transformadores, alternadores ou consumidores ligados a linhas aéreas. Para cada função, o pára-raios apropriado.

OERLIKON

VG/WG
6 – 37 kV

Corrente de descarga 5 e 10 kA respectivamente Ondas rectangulares 75A 1000 µs e 150A 2000 µs

WGE
40 – 73 kV

Corrente de descarga 10 kA Ondas rectangulares 150A 2000 µs Membrana anti-explosão

WM/WMR
50 – 500 kV

Insuflação magnética Corrente de descarga 10 kA, Ondas rectangulares 1000A 2000 µs Membrana anti-explosão

Para indicações mais amplas consultar os nossos representantes Sociedade Michaëlis de Vasconcellos, Ltda. Porto e Lisboa

Ateliers de Construction Oerlikon · Zurich (Suiça)

Representantes para Portugal e Ultramar: Sociedade Michaëlis de Vasconcellos, Lda., Porto e Lisboa

técnica

NUMERO 577 ABRIL DE 1968 ANO XLIII VOL. XXX PUBLICAÇÃO MENSAL

C. D. U. 621.371.029.63 : 538.566

RELAÇÃO ENTRE A ESTRUTURA DA TROPOSFERA E A PROPAGAÇÃO PARA ALÉM DO HORIZONTE

por JOÃO P. FIGANIER

Assistente do I S T.
Assistente no C.E.C. do C.E.E.N. (I.A.C.)

RESUMO

O presente artigo tem carácter introdutório. Nele é indicada a relação entre a estrutura fina da troposfera representada por uma função de correlação espacial ou pelo correspondente espectro de potência e a secção eficaz de dispersão para as ondas decimétricas. Descrevem-se muito brevemente alguns modelos de estrutura fina da troposfera e métodos experimentais destinados a verificá-los.

SYNOPSIS

The present paper is introductory in character. In it the relation between the fine structure of the troposphere as given by a spatial correlation function or the corresponding power spectrum and the scatter cross-section for decimeter wavelengh is obtained. A very brief description of some models of the fine structure of the troposphere and of some experimental methods used to verify them comes next.

1 — INTRODUÇÃO

O presente artigo representa a «passagem a escrito» duma conferência com o mesmo título proferida pelo autor em Janeiro passado, a convite da Comissão Organizadora da II.ª Semana de Engenharia Electrotécnica (*). Dado que o artigo foi solicitado após a conferência e também porque a palavra escrita difere sempre numa certa medida da palavra falada, não foi possível manter uma perfeita semelhança entre o que foi dito na altura e o que se escreve agora — nem sequer se fez um grande esforço nesse sentido.

O artigo, tal como já sucedia com a conferência, é destinado aos alunos do último ano de «correntes fracas» do I.S.T. — que o solicitaram — e tem por isso carácter exclusivamente introdutório.

O assunto escolhido diz respeito a um mecanismo de propagação que consiste na dispersão devida a irregularidades existentes na baixa atmosfera (troposfera) da energia proveniente do emissor. Este mecanismo ganhou interesse ao verificar-se que nele se podiam basear sistemas de comunicação seguros (1) sobre distâncias da ordem das centenas de quilómetros, num único salto. O número de sistemas deste tipo tem-se multiplicado nestes últimos anos e sobre eles incide actualmente grande atenção.

Por outro lado vários aspectos do mecanismo

(1) — No sentido de se poder garantir a comunicação com um determinado nível de qualidade durante uma percentagem de tempo pre-determinada e qualquer.

(*) Instituto Superior Técnico, 15 a 20 de Janeiro de 1968.

de dispersão estão ainda em disputa; é o caso em especial da relação que existirá entre a estrutura da baixa atmosfera tal como os meteorologistas a conhecem e os resultados obtidos pelos engenheiros de comunicações nos seus ensaios de propagação e nos seus sistemas por dispersão troposférica.

Em conclusão: a actualidade do tema, tanto do ponto de vista fundamental como da aplicação, e o interesse que reveste para a engenharia de comunicações, servirão portanto de justificação para a escolha deste assunto numa conferência — e subsequente artigo — destinada aos alunos de «corrente fracas».

Não existia a intenção de abranger os vários aspectos da dispersão troposférica neste artigo; o tema é demasiado vasto para que isso seja possível. Sendo assim, o assunto foi limitado à exposição da fenomenologia e do modo como vários modelos da atmosfera podem ser introduzidos e comparados com observações experimentais de propagação. Este parece ser ainda um dos fulcros da actual investigação sobre a dispersão troposférica.

2 — ESBOÇO HISTÓRICO

O mecanismo da dispersão troposférica foi descoberto nos anos da década de 40: por exemplo, em [16] um campo inesperadamente intenso é observado em 9 cm a distâncias superiores a 80 milhas mas o fenómeno permanece inexplicado. Uma das primeiras tentativas sérias de interpretação teórica das observações foi feita em 1950 por Booker e Gordon [7]; em 1955 o interesse já era suficiente para justificar um número especial dos *Proc. I. R. E.* (**43**, (10)); as primeiras aplicações com fins utilitários apareceram talvez nos últimos anos da década de 50 — ver por exemplo *Onde Elect.* (Jan. 1960); na documentação da X.ª Assembleia Geral do C. C. I. R. (Genebra 1963) aparece o primeiro relatório (n.º 244) (²) sobre a estimativa da atenuação a esperar numa ligação por dispersão troposférica. No instante presente — mais exactamente, em Setembro de 1967 (³) — o interesse teórico por este mecanismo ainda não se desvaneceu, permanecendo a dúvida sobre o modelo de atmosfera que conduza a uma melhor justificação da dispersão. A discussão conserva interesse tanto do ponto de vista da utilização em comunicações — para melhor avaliação das condições de propagação — como para o conhecimento da estrutura das camadas inferiores da atmosfera (⁴).

3 — CARACTERIZAÇÃO DO CAMPO DE DISPERSÃO

Para caracterizar o campo de dispersão imagine-se uma experiência em que se dispõe dum emissor e dum receptor distantes de uma ou mais centenas de quilómetros, cujas antenas estão fora da região de visibilidade directa; as antenas estão apontadas na direcção comum e (aproximadamente) para o horizonte (figura 1)

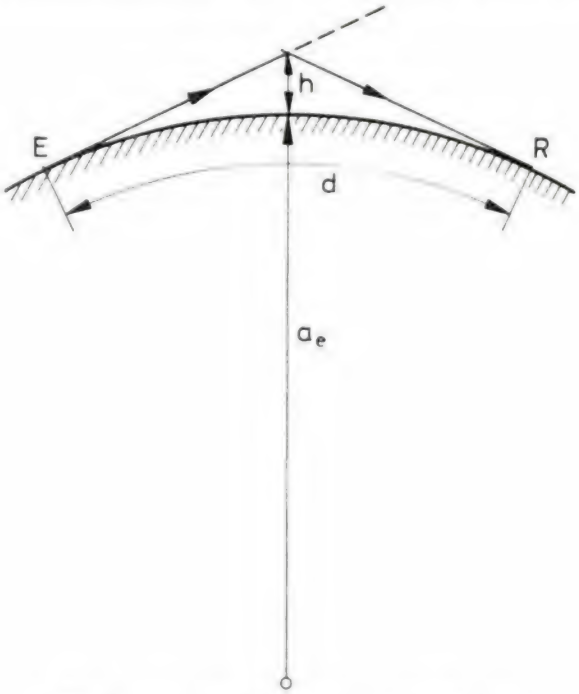


Fig. 1 — Geometria para uma experiência de propagação por dispersão troposférica

(²) — De resto alterado e «enriquecido» na XI.ª Assembleia Geral daquele organismo (Oslo 1966).

(³) — Data em que se efectuou o «Nato Advanced Study Institute, on the Structure of the Lower Atmosphere and Electromagnetic Wave Propagation».

(⁴) — A gama de pessoas interessadas no melhor conhecimento do mecanismo da dispersão troposférica é bastante mais vasta do que à primeira vista se possa pensar; efectivamente não é só a meteorologia e a engenharia de comunicações (no sentido restrito) que podem beneficiar do acréscimo daquele conhecimento, mas também interessa a actividades tão diversas como o projecto de sistemas de aterragem automática de aviões ou a rádio-astronomia, além evidentemente do interesse puramente científico.

— ver [11] para a descrição muito completa precisamente duma experiência deste tipo. Admite-se ainda que a frequência de trabalho é superior a cerca de 50 Mc/s.

Como resultado desta experiência observar-se-ia no receptor um campo devido ao emissor cuja intensidade seria superior, em valor médio, à que se poderia esperar por simples difracção em torno da superfície da Terra nas condições «standard» de propagação, [16], [23].

Uma simples consideração geométrica sugere que os campos que iluminam a antena receptora têm a sua origem em regiões cuja altura é da ordem da que se indica no quadro junto:

d (km)	100	200	400	1000
h (m)	150	590	2400	15000
f (Mc/s)	100 - 10000			100

$h \simeq \frac{d^2}{8 a_e}$, a_e raio equivalente da Terra para condições de propagação «standard» ($4/3 \times 6500$ Km)

Neste mesmo quadro incluem-se os limites de frequência (em ordem de grandeza) para os quais se observa o fenómeno da dispersão.

O exame do quadro mostra que se estará em presença dum fenómeno que tem a sua origem na troposfera, pelo menos enquanto se consideram distâncias dentro das centenas de quilómetros; para distâncias da ordem dos 1000 km ou maiores o fenómeno terá a sua sede na alta atmosfera. O exame das frequências típicas implica que na realidade se está na presença de dois mecanismos diferentes; efectivamente, no segundo caso — grandes distâncias, baixas frequências — o campo que chega ao receptor tem a sua origem na dispersão ou reflexão do campo proveniente do emissor em regiões ionizadas: irregularidades da ionosfera ou até mesmo rastos de meteóritos [12] (5); não se torna a considerar aqui este caso.

Por outro lado, se se fizer um registo ao longo do tempo da intensidade do campo observam-se flutuações extremamente violentas — variações que eventualmente atingem 30 dB podem ser observadas várias vezes por segundo («fading rápido»), sobrepostas a flutuações mais lentas mas que também poderão ser bastante profundas («fading lento»), não falando de variações ainda mais lentas (sazonais, etc.); ver [11], págs. 1102 e 1108 como exemplos de tais registos.

As características descritas acima para o campo que ilumina a antena de recepção permitirão concluir que este campo será originado por um mecanismo de dispersão em irregularidades da estrutura da troposfera, irregularidades essas com dimensões não muito diferentes dos comprimentos de onda postas em jogo, isto é, desde os centímetros até aos metros ou dezenas de metros e que tendem a alterar-se de instante para instante.

É oportuno fazer notar neste ponto que por vezes, com as mesmas disposições experimentais, se poderá observar um campo muito mais intenso (de algumas dezenas de dB) e mais estável a curto prazo. Nessas alturas está-se em presença dum mecanismo totalmente diferente: a energia radiada pelo emissor foi confinada de modo mais ou menos completo num ducto com origem numa inversão meteorológica. Não se considera aqui este mecanismo.

4 — ORIGEM METEOROLÓGICA DAS VARIAÇÕES DE ÍNDICE DE REFRACÇÃO NA TROPOSFERA

O índice de refracção da mistura de gases que formam a atmosfera na primeira dezena de quilómetros de altura depende essencialmente da pressão total (p em mb), da temperatura (T em °K) e da quantidade de vapor de água presente (dada por exemplo pela pressão parcial, p_a em mb). Tem-se assim, com $N = (n - 1) \times 10^6$, em que n é o índice de refracção em relação ao vácuo, [25]

$$N = 77{,}6 \frac{p}{T} + 72 \frac{p_a}{T} + 3{,}75 \times 10^5 \frac{p_a}{T^2} .$$

Caracteristicamente $N \simeq 300$ junto ao solo e $N \simeq 5$ a 30 km de altura [2], sendo a variação com a altura aproximadamente exponencial.

As variações do índice de refracção correspondentes a variações da pressão total, temperatura

(5) — Os ângulos de fogo utilizados ainda que pequenos não serão razantes como se admitiu acima.

e pressão parcial de vapor de água são dadas por ([6])

$$\partial N = 0{,}3\ \partial p + 4{,}7\ \partial p_a - 1{,}4\ \partial T. \quad (1)$$

Observando (1) verifica-se que são as variações da humidade as principais responsáveis pelas variações do índice de refracção da atmosfera — não se trata dum resultado totalmente inesperado tendo em vista a elevada polarizabilidade da molécula da água. O efeito das variações da temperatura do ar também tem importância enquanto que o das variações da pressão total é comparativamente muito pequeno.

Nas variações locais do índice de refracção é que se procura, como se verá em seguida, a justificação da dispersão troposférica. Essas variações têm sido observadas directamente por meio

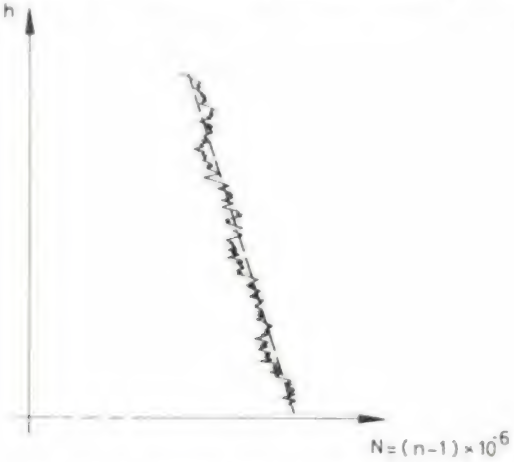


Fig. 2 — Variação do índice de refracção em função da altura

de aparelhos próprios — refractómetros ([7]); sobrepõem-se ao decréscimo regular (em condições normais) de N com a altura e atingem usualmente magnitudes ∂N da ordem de algumas unidades [17], [25]. Gráficos de valores experimentais de N em função da altura podem ser vistos em [25] (pág. 40); o aspecto que tomam é ilustrado na figura 2.

([6]) — Em que se tomou:

$p = 1000$ mb
$T = 290$ °K
$pa = 14$ mb ,

valores característicos à superfície da Terra.

([7]) — Trata-se de aparelhos constituídos fundamentalmente por uma cavidade ressonante aberta, em contacto com o ambiente, — ou em baixa frequência um circuito ressonante, também em contacto com o ambiente — e de que se mede os desvios da frequência de ressonância em relação à duma cavidade igual mas fechada.

5 — ORIGEM DO CAMPO DE DISPERSÃO: FACTOR DE CORRELAÇÃO ESPACIAL E ESPECTRO DE POTÊNCIA DAS IRREGULARIDADES

No presente parágrafo estabelecem-se os resultados fundamentais que permitem relacionar a estrutura da atmosfera, caracterizada por determinados parâmetros, com o campo de dispersão observado. Para isso vai-se obter o valor da potência recebida no receptor por dispersão na troposfera do campo proveniente dum emissor, admitindo que existem na região considerada flutuações do índice de refracção.

Certas restrições são desde já impostas para tornar o problema manuseável. Em primeiro lugar só se considera para o campo recebido a contribuição que provém duma única dispersão, isto é, não se toma em linha de conta a dispersão múltipla; esta restrição é justificada pelo valor muito pequeno em relação à unidade das variações do índice de refração ([8]).

Uma segunda restrição consiste em admitir a estacionaridade do fenómeno no tempo e no espaço, isto é, a sua independência da origem dos tempos e das coordenadas espaciais; esta restrição é usualmente feita [24].

Seja então um pequeno volume ∂V — tal que qualquer das suas dimensões seja muito menor que o comprimento de onda da radiação incidente —, no qual a constante dieléctrica toma o valor

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \partial \varepsilon\ , \quad (2)$$

onde ε_0 é a constante dieléctrica do vácuo ([9]); e

$$\partial \varepsilon = \partial \varepsilon\ (\mathbf{x}, t)\ .$$

A fim de simplificar o tratamento vai-se pôr de parte a variação no tempo: isto é, considera-se o sistema imobilizado na configuração que assume num dado instante; esta atitude deixa inexplicados fenómenos como o «fading» rápido, mas é certamente aceitável à escala do período das radiações que se consideram aqui e possìvelmente

([8]) — Pelo menos no modelo de dispersão por turbulência; para um modelo de reflexões em estratos a restrição é mais duvidosa.

([9]) — Em rigor devia-se ter tomado $\bar{\varepsilon}$; atendeu-se no entanto ao facto de que para o ar n só difere da unidade em 0,03% ou menos.

mesmo à escala do tempo de propagação no «volume comum» — ou seja, o volume da atmosfera que é simultâneamente iluminado pela antena do emissor e visto pela antena do receptor (só se considera para o volume comum o lobo principal de cada uma das antenas).

Considera-se agora que o campo incidente é uma onda plana de frequência angular ω e amplitude E_o; então, nas condições da figura 3, tem-se na região delimitada pelo volume δV,

$$E_i = E_o \exp [j(\omega t) - k r_E)] ,$$

em que k é o número de onda em espaço livre correspondente à frequência angular.

No volume considerado ter-se-á, atendendo a (2),

$$\nabla \times \mathbf{H} = \varepsilon_o j \omega \mathbf{E}_i + \delta \varepsilon j \omega \mathbf{E}_i . \qquad (3)$$

Se agora se interpretar o segundo termo do membro da direita da equação (3) como sendo uma densidade de corrente imposta e que se considera na origem do campo de dispersão, este último campo poderá ser calculado na região do receptor por intermédio dum vector de Hertz dado em grandeza por

$$\Pi = \frac{1}{4\pi} \frac{\delta \varepsilon}{\varepsilon_o} \frac{\exp [-j k r_R]}{r_R} . E_o \exp [-j k r_E] \delta V,$$

em que se atendeu ao facto de que qualquer das dimensões de δV é muito menor que o comprimento de onda.

Vem então

$$\begin{cases} \delta E_d = k^2 \Pi \operatorname{sen} \theta \\ \delta H_d = \dfrac{\delta E_d}{Z_o} \qquad Z_o = 120 \pi \ \Omega \end{cases} \qquad (4)$$

Toma-se em seguida um volume V que integra os elementos δV considerados acima e que se supõe suficientemente afastado do emissor e do receptor para ter todos os seus pontos à mesma distância (excepto no que diz respeito à fase). O campo de dispersão no receptor com origem neste volume virá dado por

$$E_{dV} = \frac{k^2}{4\pi} E_o \frac{\operatorname{sen} \theta}{r_R} \int_V \frac{\delta \varepsilon}{\varepsilon_o} \exp [-j k (r_E + r_R)] \delta V. \qquad (5)$$

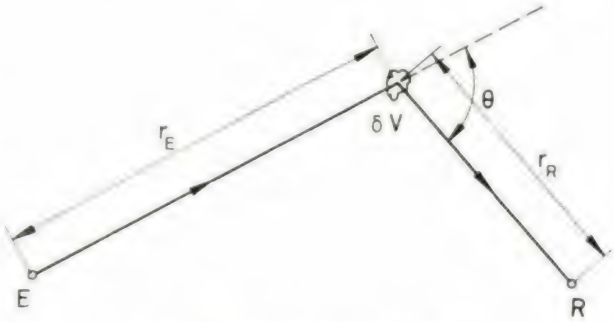


Fig. 3 — Dispersão pelo volume δV

Pode-se então calcular a potência recebida por unidade de área na região do receptor, devida ao volume V; será [10]:

$$P_V = \frac{1}{2} \frac{1}{Z_o} \left[\frac{k^2 E_o \operatorname{sen} \theta}{4\pi \ r_R} \right]^2 \int_V \int_V \left(\frac{\delta \varepsilon_1}{\varepsilon_o} \right) \left(\frac{\delta \varepsilon_2}{\varepsilon_o} \right) . \exp \{-j k [(r_1 - r_2)_E + (r_1 - r_2)_R]\} \delta V_1 \delta V_2 ,$$

em que se toma em linha de conta que a radiação proveniente de dois elementos δV_1 e δV_2 do volume V não é necessàriamente incoerente.

Neste ponto vai-se definir, como é feito por vezes (em especial em [7] e [28]), uma «secção eficaz de dispersão» que representa a potência dispersada por unidade de volume, por unidade de ângulo sólido. Virá então

$$\sigma = \frac{1}{V} \left[\frac{k^2 \operatorname{sen} \theta}{4\pi} \right]^2 \int_V \int_V \left(\frac{\delta \varepsilon_1}{\varepsilon_o} \right) \left(\frac{\delta \varepsilon_2}{\varepsilon_o} \right) . \exp \{-j k [(r_1 - r_2)_E + (r_1 - r_2)_R]\} \delta V \delta V .$$

(10) — O fluxo de energia por unidade de área, por segundo, é dado por

$$\frac{1}{2} E_{dv} H^*_{dv} = \frac{1}{2} E_{dv} \frac{E^*_{dv}}{Z_o}$$

Esta secção eficaz será normalmente função não só de θ como também dum outro ângulo que se pode tomar como sendo o ângulo que a direcção de dispersão faz com a direcção de polarização do campo incidente (φ); será portanto $\sigma(\theta,\varphi)$.

A expressão acima pode ser transformada escrevendo que

$$\delta\varepsilon_1 = \delta\varepsilon_1(x_1)$$

$$\delta\varepsilon_2 = \delta\varepsilon_2(x_2) = \delta\varepsilon_2(x_1 + r)$$

e ainda, observando que $(r_1 - r_2)$ é ùnicamente função de r. Nestas condições pode-se pôr

$$\sigma = \frac{1}{V}\left[\frac{k^2 \operatorname{sen}\theta}{4\pi}\right]^2 \int_V \left[\int_V \left(\frac{\delta\varepsilon_1}{\varepsilon_0}\right)\left(\frac{\delta\varepsilon_2}{\varepsilon_0}\right)\delta V_2\right] . \exp\left\{-j\,k\,[(r_1 - r_2)_E + (r_1 - r_2)_R]\right\}\delta V_1 ,$$

ou seja

$$\sigma = \left[\frac{k^2 \operatorname{sen}\theta}{4\pi}\right]^2 \overline{\left(\frac{\delta\varepsilon}{\varepsilon_0}\right)^2} \int_V \rho(r) . \exp\left\{-jk\,[(r_1 - r_2)_E + (r_1 - r_2)_R]\right\}\delta V_1 , \qquad (6)$$

em que

$$\rho(r) = \frac{1}{V\overline{\left(\frac{\delta\varepsilon}{\varepsilon_0}\right)^2}} \int_V \left(\frac{\delta\varepsilon_1}{\varepsilon_0}\right)\left(\frac{\delta\varepsilon_2}{\varepsilon_0}\right)\delta V_2$$

é uma função de correlação ([11]) que se pode ainda escrever, atendendo a que (com $n \simeq 1$)

$$\frac{\delta\varepsilon}{\varepsilon_0} \simeq 2\delta n ,$$

$$\rho(r) = \frac{1}{V\overline{(\delta n)^2}} \int_V (\delta n_1)(\delta n_2)\,\delta V_2$$

Esta função de correlação é só dependente de r dada a hipótese de estacionaridade feita inicialmente. Por outro lado é um parâmetro característico da estrutura das regiões consideradas da atmosfera.

Retomando a expressão da secção eficaz de dispersão σ, (6), e atendendo à figura 4, pode-se pôr

$$k\,[(r_1 - r_2)_E + (r_1 - r_2)_R] = k_E . r - k_R . r = k . r$$

com

$$k = k_E - k_R ,$$

donde

$$\sigma = \left[\frac{k_2 \operatorname{sen}\theta}{4\pi}\right]^2 \overline{(\delta n)^2} \int_V \rho(r) \exp[-jk.r]\,\delta V .$$

Chamando

$$\Phi(k) = \frac{1}{(2\pi)^3} \int_V \rho(r) \exp[-jk.r]\,\delta V ,$$

vem

$$\sigma = \left[\frac{k^2 \operatorname{sen}\theta}{4\pi}\right]^2 \overline{(\delta n)^2}\,\Phi(k) . \qquad (8)$$

Para interpretar a função $\Phi(k)$ note-se que a função

$$\Phi(h) = \frac{1}{(2\pi)^3} \int_V \rho(r) \exp[j\,h.r]\,\delta V \qquad (9)$$

será a transformada de Fourier da função de

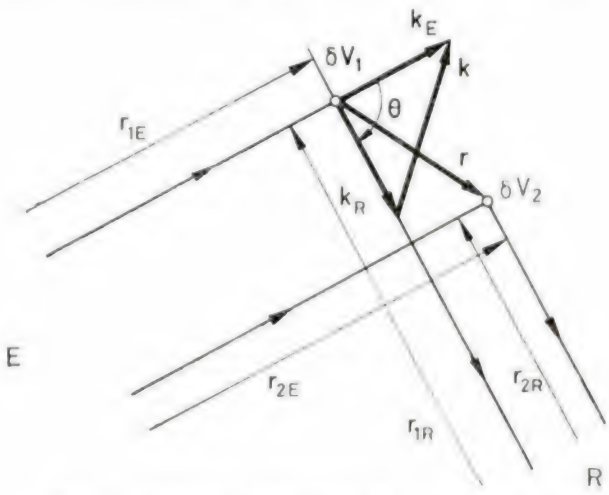


Fig. 4 — Geometria considerada para o cálculo da secção eficaz de dispersão

([11]) — O factor $V\frac{1}{\overline{\left(\frac{\delta\varepsilon}{\varepsilon_0}\right)^2}}$ é um factor de normalização

correlação. Portanto a função Φ (k) que aparece em (7) é o valor que este espectro toma para $h = k$. Deste modo a secção eficaz de dispersão vem proporcional ao valor que o «espectro de potência» das variações do índice de refracção na atmosfera toma para $h = k$; trata-se evidentemente, tal como já sucede para ρ (r), dum parâmetro característico da estrutura da atmosfera.

respectiva transformada de Fourier Φ (h). Por outro lado, no parágrafo 4 viu-se que aparecerão variações do índice de refracção em regiões da atmosfera onde se verifiquem variações da humidade e da temperatura. Estabelece-se assim a relação entre o fenómeno da dispersão troposférica e os fenómenos de carácter meteorológico.

A importância destas conclusões é que tanto

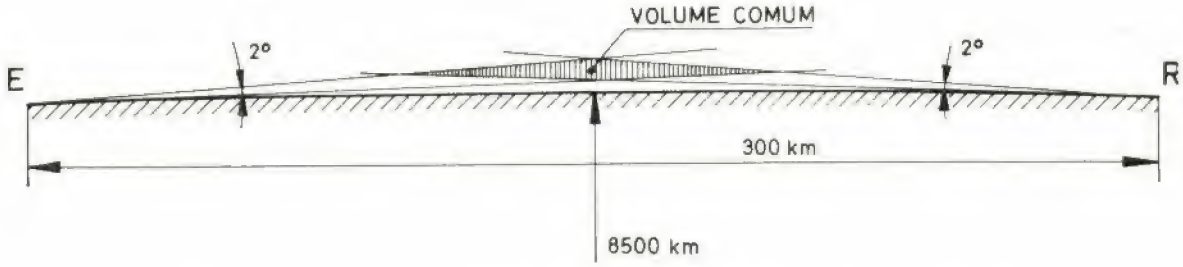


Fig. 5 – Volume comum desenhado em igualdade de escalas vertical e horizontal

Tem interesse introduzir aqui uma observação: dada a geometria geralmente prevalescente nas ligações por dispersão troposférica, e como se pode ver pela figura 5 em que se fez uma representação conservando a mesma escala para o sentido horizontal e para o sentido vertical (nos desenhos usuais exageram-se sempre fortemente as dimensões verticais), o vector k é aproximadamente constante sobre todo o volume comum. Deste modo o fenómeno da dispersão tal como é observado comporta-se aproximadamente como um filtro que separa uma banda muito estreita do espectro da turbulência atmosférica.

Por último a potência total recebida no receptor pode ser calculada integrando σ sobre todo o volume comum.

6 — RESUMO DAS CONCLUSÕES DOS PARÁGRAFOS ANTERIORES

Convém agora rever o que se faz nos dois parágrafos anteriores. No parágrafo imediatamente precedente verificou-se que se se admitir que a atmosfera tem uma estrutura constituída por volumes em que a constante dieléctrica — e portanto o índice de refracção — sofre variações espaciais, aparece um campo dispersado a partir duma onda plana; a secção eficaz de dispersão pode ser relacionada com a estrutura da atmosfera através de funções que caracterizam essa estrutura, ou seja, a função de correlação ρ (r) e

ρ (r) como Φ (h) podem ser obtidos por meio de considerações totalmente independentes da dispersão troposférica e o seu conhecimento permite, em princípio, fazer o cálculo da potência dispersada; conversamente, a observação da potência dispersada permitirá concluir sobre aqueles parâmetros e portanto sobre a estrutura da atmosfera. É em torno deste tema que se vai prosseguir.

7 — BREVE MENÇÃO DE ALGUNS DOS MODELOS DE TROPOSFERA PROPOSTOS

Vários dos modelos de atmosfera propostos para o estudo da dispersão troposférica baseiam-se em teorias de mistura turbulenta — como de resto era de esperar. Vão-se mencionar muito sucintamente alguns desses modelos.

Um dos primeiros a ser utilizado faz

$$\rho\,(r) = \frac{1}{l_0} \exp\left[-\frac{r}{l_0}\right]$$

em que r é tomado como um escalar, o que pressupõe isotropismo, e l_0 é um factor de escala. Este modelo foi considerado por Booker e Gordon em 1950 [7] e é atractivo pela sua simplicidade. Mais tarde, Wheelon [27] introduz uma função de correlação idêntica mas constituída pela soma de duas exponenciais com factores de escala diferentes, sendo uma das intenções evitar o

«bico» na origem exibido pela função anterior e que representaria uma discontinuidade do índice de refracção.

Num outro grupo de modelos faz-se

$$\rho(r) = c^{te} \frac{r}{l_0} K_\nu \left(\frac{r}{l_0}\right)$$

em que K_ν é a função de Bessel de 2.ª espécie modificada, de ordem ν — Norton [22] com $\nu = 1$, Feldhaber e outros [14], [15], com ordens diferentes de 1 e diferentes no sentido vertical e horizontal.

Outros modelos consideram o espectro de potência Φ (h) das flutuações do índice de refracção. Destes modelos o mais importante é o que se baseia numa teoria de turbulência homogénea avançada independentemente por vários autores, o primeiro dos quais foi Kolomogoroff (em 1941). A teoria vem descrita em [1] e foi aplicada ao estudo da dispersão troposférica por Bachelor e Megaw [21]. Nesta teoria considera-se uma função E (h) proporcional ao integral de Φ (h) sobre todas as direcções de h; a dependência de E (h) em h aparece dividida em 3 zonas: a primeira, para valores pequenos de h (grandes escalas) corresponde à injecção da energia para a turbulência; outra corresponde à transferência de energia ao longo de escalas cada vez mais curtas (valores crescentes de h) e em que E (h) varia com $h^{-5/3}$; finalmente a terceira corresponde à dissipação da energia por viscosidade e nela E (h) anula-se ràpidamente [12].

Nos modelos mencionados acima admite-se normalmente que a turbulência é isotrópica. Esta hipótese é certamente insatisfatória em larga escala — um argumento a considerar é que o campo de gravidade da Terra tenderá a produzir uma estratificação horizontal e portanto introduz-se assim uma anisotropia no sentido vertical. A hipótese de isotropia tem sido objectada usando argumentos teóricos sobre o mecanismo da turbulência na atmosfera — ver os de Bolgiano [4], [5], [6] — e uma das consequências é que outras dependências para a variação de E (h) com h têm sido propostas.

8 — TÉCNICAS EXPERIMENTAIS BASEADAS NO ESTUDO DA PROPAGAÇÃO

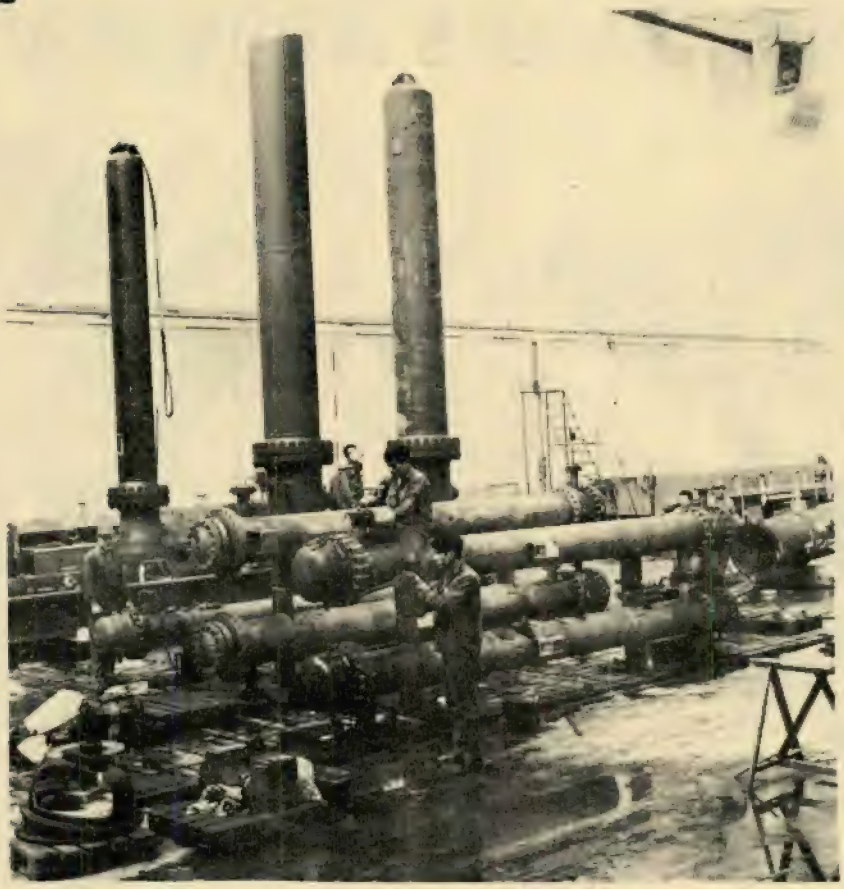
A escolha entre os vários modelos propostos só pode vir a ser resolvida por meio de ensaios. Vários destes ensaios têm sido descritos; alguns envolvem uma grande multiplicidade de processos postos em jogo simultâneamente — além da observação da dispersão troposférica em várias frequências são também feitas sondagens verticais com radar, é explorado o volume comum directamente com refractómetros montados em balões ou aviões, etc. Convém no entanto fazer notar neste ponto que os ensaios em que se observa a dispersão na troposfera dum feixe proveniente dum emissor apresentam duas vantagens importantes em relação aos ensaios em que a estrutura da atmosfera é explorada directamente com refractómetros: efectivamente, não só se evita a perturbação do meio que se pretende estudar — perturbação essa que se torna inevitável pela necessidade de colocar «in loco» o refractómetro e tanto mais grave que se pretende detectar eventualmente camadas cuja espessura pode ser da ordem do metro ou menor —, como também é agora viável estabelecer observações contínuas.

Os resultados dos ensaios são difíceis de interpretar. Por um lado exibem uma grande variabilidade no tempo — «fading» rápido — que se interpreta como sendo proveniente da interferência entre raios vindos de pontos diferentes e que por isso se apresentam com diferenças de fase entre si, e cujos caminhos estão em constante variação, não só devido a movimentos colectivos (ventos) não necessàriamente coerentes em todo o volume comum, como também devido a movimentos desordenados de turbulência dos centros de dispersão; por outro lado o volume comum é mal definido devido à inevitável falta de resolução da antena receptora — daí talvez a razão porque predominam aparentemente os ensaios em frequências mais elevadas (acima do Gc/s), o que pode ter alguma influência nas conclusões.

Um primeiro tipo de ensaio que se realiza por vezes consiste em receber o sinal em duas antenas separadas por uma distância que se pode

(12) — Na realidade a teoria que se menciona aqui estuda o espectro das flutuações das velocidades de turbulência, mas é admitido [21] que esse espectro tem a mesma dependência em h que o espectro das flutuações do índice de refracção.

MAGUE



ENSAIO HIDRÁULICO, EM FÁBRICA, DE PERMUTADORES DE CALOR DESTINADOS À REFINARIA DO NORTE DA SACOR.
(Projecto da Société Foster Wheeler Française)

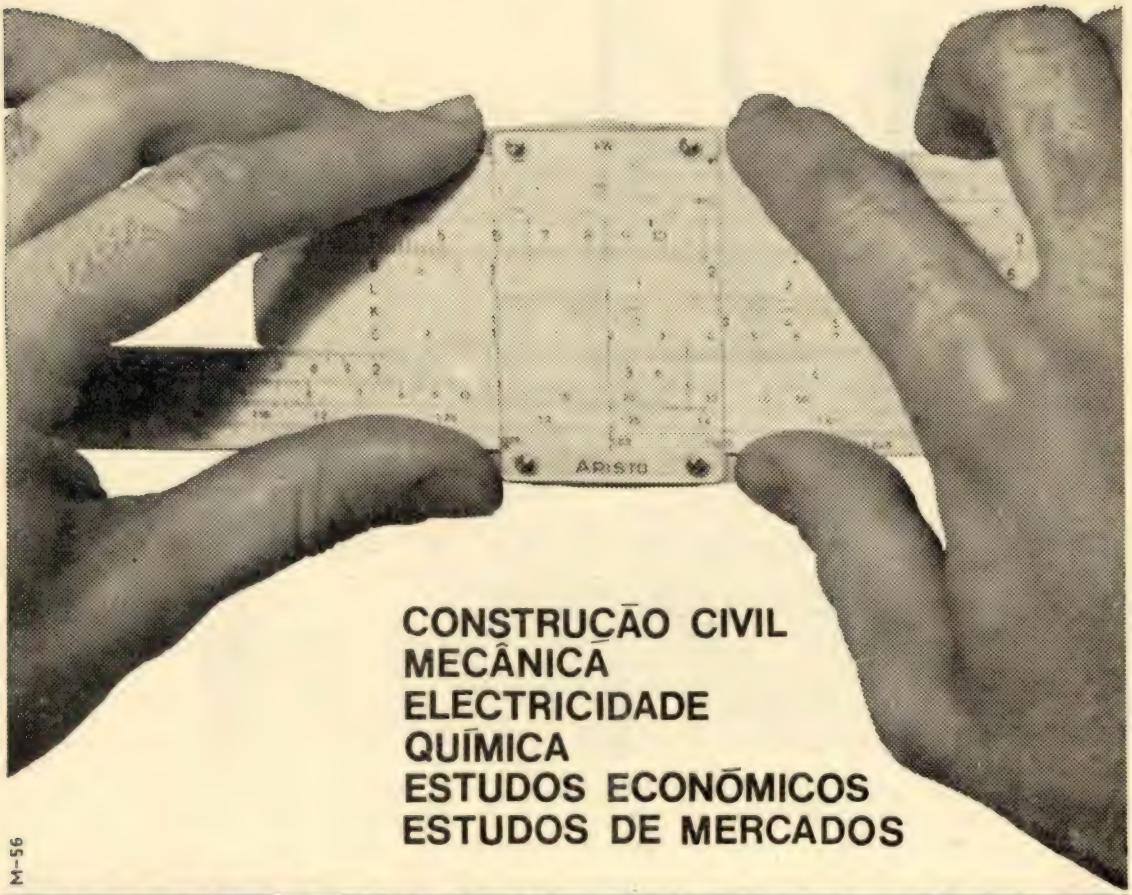
EM SEGUNDO PLANO PRÉ-AQUECEDORES DE ALTA PRESSÃO PARA A CENTRAL DO CARREGADO.
(Licença Brown Boveri & Cie).

PONTES ROLANTES, GUINDASTES E APAR. DE ELEVAÇÃO ESPECIAIS	*Projecto e fabrico*
TURBINAS HIDRÁULICAS	*Fabrico segundo licença de A. C. M. de Vevey, S. A.*
TURBINAS A VAPOR	*Fabrico segundo licença de Brown Boveri, Cie.*
CALDEIRAS A VAPOR	*Projecto e fabrico segundo licença de Foster Wheeler, Co.*
EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS	

CONSTRUÇÕES METALOMECANICAS **MAGUE** S.A.R.L

ALVERCA DO RIBATEJO — PORTUGAL

PROJECTOS COMPLETOS DE INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS



CONSTRUÇÃO CIVIL
MECÂNICA
ELECTRICIDADE
QUÍMICA
ESTUDOS ECONÓMICOS
ESTUDOS DE MERCADOS

M-56

LUSOTECNA

CONSULTORES TÉCNICOS INDUSTRIAIS, S A R L

R. PADRE A. VIEIRA, 26 - LISBOA - TEL. 688082/3

A MAIOR ORGANIZAÇÃO DO PAÍS QUE SE DEDICA EXCLUSIVAMENTE A ESTUDOS E PROJECTOS

fazer variar, [20], [14]. Os sinais provenientes das duas antenas são correlados entre si, e, conforme o modelo de atmosfera adoptado, pode-se estabelecer uma relação entre a curva de correlação em função da distância entre antenas e a função de correlação espacial $\rho(r)$, e assim tentar concluir sobre o modelo que melhor se coaduna às observações.

Um segundo tipo de ensaio consiste em explorar uma região da troposfera fazendo variar o ângulo de fogo da antena de recepção; tem-se assim os ensaios de «beam swinging» [11], [26]. Nestes ensaios procura-se utilizar em geral uma antena muito directiva no plano em que se faz a exploração, de modo a poder distinguir algum pormenor. Obtém-se o equivalente a um diagrama de radiação da antena de recepção que se compara com o verdadeiro diagrama (obtido num ensaio em que o emissor e o receptor estão à vista um do outro). Se a exploração for rápida — da ordem de 1/10 de segundo [26] — é possível distinguir vários centros de dispersão; se for mais lenta os sinais provenientes dos vários centros de dispersão são integrados e conduzem a um alargamento aparente de diagrama da antena [11].

Por último, com um tipo de ensaio também em «beam swinging» mas um pouco diferente do que se acabou de descrever, [13], (ver [14] para uma descrição) tenta-se determinar o comportamento do espectro de potência das irregularidades. Para isso utilizam-se antenas bastante directivas, tanto no emissor como no receptor, e a interpretação dos resultados baseia-se no facto de a secção eficaz de dispersão ser proporcional a Φ (k) (8). Variando então simultâneamente da mesma quantidade o ângulo de fogo da antena de emissão e o da antena de recepção — figura 6, (i) — obtém-se a variação do espectro com a grandeza de **k** [13]. Por variação lateral dos ângulos de fogo altera-se a direcção de **k** e obtém-se a variação concomitante do espectro — figura 6, (ii) —; trata-se na realidade dum ensaio que se propõe detectar a existência de anisotropia na atmosfera. Um terceiro ensaio — figura 6, (iii) — em que se mantém a direcção de **k** constante destina-se a obter informação sobre a homogeneidade da atmosfera no sentido horizontal.

9 — SINOPSE DOS RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Os vários ensaios levados a cabo utilizando técnicas experimentais como as descritas no parágrafo anterior parecem não ser suficientemente decisivos para permitirem uma escolha clara entre os vários modelos.

Os resultados que dizem respeito à direcção vertical diferem dos que dizem respeito às direc-

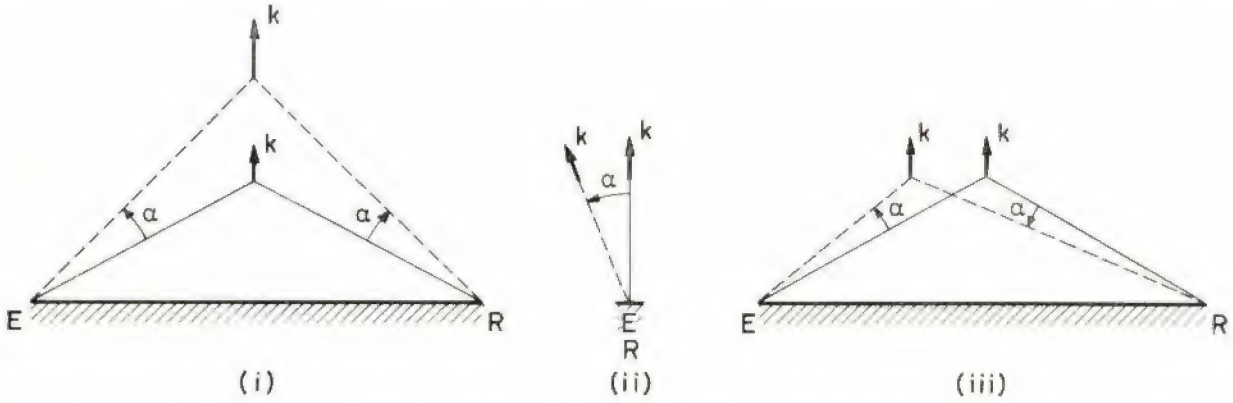


Fig. 6 — Ensaios em «beam swinging» para a determinação da dependência em **k** do espectro de potência das irregularidades do índice de refracção da troposfera:

(i) variação do ângulo de fogo em altura
(ii) variação horizontal transversal
(iii) variação horizontal longitudinal

(13) — Recorrendo à figura 4 pode-se concluir sem dificuldade que, com $|\mathbf{k}_1| = |\mathbf{k}_2| = \frac{2\pi}{\lambda}$, vem

$$|\mathbf{k}| = 2 \cdot \frac{2\pi}{\lambda} \operatorname{sen} \theta$$

ções horizontais, o que é uma indicação de anisotropia, ainda que aparentemente não muito acentuada [14]. Por outro lado também não é inteiramente claro se a teoria de turbulência de Kolomogoroff é suportada por estes ensaios; efectivamente ainda que certos autores [14] estejam disso convencidos, outros valores do expoente que traduz a variação do espectro integrado com h (§ 7) têm aparentemente sido obtidos [6] de resto com uma dispersão relativamente grande. Por último observe-se que, como já se acentuou, a maioria dos ensaios têm sido conduzidos por razões de facilidade experimental em frequências relativamente elevadas ($>$ 1 Gc/s); não se pode excluir a possibilidade de frequências mais baixas revelarem uma estrutura um pouco diferente; é nesta base, como se verá no parágrafo seguinte, que um novo mecanismo de dispersão foi proposto.

10 — EXPLICAÇÃO DO FENÓMENO PELA REFLEXÃO EM FOLHETOS

A anisotropia observada em ensaios como os descritos acima pode sugerir que o mecanismo justificativo do fenómeno que se tem vindo a estudar seja, pelo menos parcialmente, da natureza de reflexões em superfícies mais ou menos horizontais, de extensão limitada.

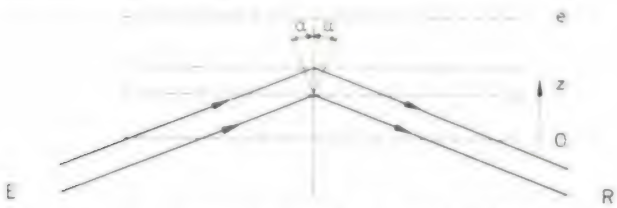


Fig. 7 — Geometria da reflexão em folhetos

Esta ideia ainda que já avançada por outros autores foi principalmente defendida por um grupo do C.N.E.T. [14] que inclui du Castel, Misme, Spizzichino e Voge, [10], [3]. Na base da argumentação considera-se um estrato horizontal em que o índice de refracção sofre uma variação $\delta n(z)$; para uma incidência segundo um ângulo quase razante e utilizando (5), a relação R entre o campo dispersado — que se pode agora interpretar como sendo reflectido — e o campo incidente é proporcional a (figura 7)

$$\int_0^e \delta n(z) \exp\left[-j\,k\,.\,2\alpha z\right] dz \quad ;$$

integrando sucessivamente por partes vem, com $\delta n = n - 1$,

$$R \text{ prop.} \left\{ \left[(n-1) + \frac{1}{j\,k\,2\,\alpha} \frac{dn}{dz} - \left(\frac{1}{k\,2\,\alpha}\right)^2 \frac{d^2 n}{dz^2} \cdots \right] \exp\left[-j\,k\,\alpha z\right] \right\}_0^e \qquad (10)$$

o que mostra que R pode assumir valores relativamente elevados quer quando δn é elevado, quer quando se tenha um gradiante elevado nessa camada. Para que R seja efectivamente elevado a diferença de fase entre os trajectos extremos dentro da camada deve conservar-se pequena, isto é, deve ser

$$e \ll \frac{1}{2\,\alpha\,k} = \frac{\lambda}{4\,\pi\,\alpha} \qquad (11)$$

o que impõe uma restrição na espessura das camadas reflectoras.

O problema consiste agora em verificar a existência de camadas que satisfaçam às condições acima. Tais camadas (folhetos) parecem efectivamente existir, com amplitudes que podem atingir 1 a 2 dezenas de unidades N, com espessuras limitadas a alguns metros ou menos, intercaladas entre zonas de turbulência (figura 8).

Fig. 8 — Variação do índice de refracção com a altura exibindo a existência de folhetos, [3] pg. 421

A orientação dos folhetos não é òbviamente a mesma para todos eles, ainda que não façam

(14) — Centre National d'Études de Télécommunications.

grandes ângulos com a horizontal [10]: resulta que o mecanismo é o duma reflexão difusa — e não o duma reflexão especular. Por outro lado é possìvelmente de esperar, devido à condição (11) que este mecanismo seja mais importante nas frequências mais baixas do que nas mais altas.

10 — CONCLUSÃO

Quando se ilumina a baixa atmosfera — troposfera — por meio de energia electromagnética em frequências da ordem das centenas ou milhares de Mc/s, observa-se à superfície da Terra, muito para além do horizonte, uma fracção muito pequena mas perfeitamente sensível da energia emitida. O mecanismo responsável, apesar de estar em discussão há já quase uma vintena de anos, ainda não está perfeitamente esclarecido, partilhando-se as opiniões sobre o modelo de atmosfera a utilizar; a situação actual é que parece haver uma possibilidade de que mais do que um único mecanismo esteja em jogo: por um lado uma dispersão provocada por inhomogeneidades mais ou menos isotrópicas com origem nos movimentos turbulentos da atmosfera; por outro lado reflexões em estratos de extensão limitada, relativamente estáveis, dispostos de maneira mais ou menos horizontal e em que o índice de refracção sofre variações muito rápidas com a altura (folhetos).

Seja como for, o esclarecimento do fenómeno tem interesse fundamental tanto para as pessoas que se dedicam ao estudo da atmosfera — entre outros os meteorologistas — como para os engenheiros de comunicações que pretendam utilizar a dispersão troposférica para transmissões a distâncias intermédias mas francamente superiores ao rádio-horizonte, com uma largura de banda razoável — o que já se faz hoje em regime comercial.

BIBLIOGRAFIA

A bibliografia que se indica em seguida não só se destina a referenciar o artigo como também é sugerida para leitura suplementar, a mais antiga em parte pelo seu interesse histórico; exceptua-se evidentemente a correspondente ao «Nato Course» (*) visto que, tanto quanto o autor o sabe, as lições proferidas nesse curso não foram publicadas. Esta bibliografia não é exaustiva; notar-se-ão possìvelmente algumas ausências consideradas fundamentais: é inevitável.

(*) Por «Nato Advanced Study Institute, on the Structure of the Lower Atmosphere and Electromagnetic Wave Propagation».

[1] — G. K. Batchelor: «The Theory of Homogenous Turbulence», Cambridge University Press, (1960)

[2] — B. A. Bean: «Tropospheric Refraction», Adv. Radio Research, **1**, 53-120, (1964).

[3] — P. Beckmann, A. Spizzichino: «The Scattering of Electromagnetic Waves from Rough Surfaces», Pergamon Press (1963).

[4] — R. Bolgiano Jr.: «A Theory of Wavelengh Dependence in Ultrahigh Frequency Transhorizon Propagation Based on Meteorological Considerations», J. Res. Nat. Bur. of Stand., **64-D**, n.° 3 231-7, (Maio-Jun. 1960).

[5] — R. Bolgiano Jr.: «Fine Structure of the Atmosphere Deduced from Direct Observation and from Turbulence Theory», Prog. in Radio Science 1963-1966, **Pt I**, 479-502, (1967).

[6] — R. Bolgiano Jr.: «Scattering Theory in Relation to Atmospheric Turbulence, Basic Theory and Relation to Experiments», Nato Course, (Set. 1967).

[7] — H. G. Booker, W. E. Gordon: «A Theory of Radio Scattering in the Troposphere», Proc. I. R. E., **38**, n.° 4, 401-12, (Ab. 1950).

[8] — K. Bullington: «Characteristics of beyond the Horizon Radio Transmission», Proc I. R. E, **43**, n.° 10, 1175-80, Out. 1955).

[9] — F. du Castel, A. Spizzichino, P. Misme, J. Voge: «On the Role of the Process of Reflection in Radio Wave Propagation», J. Res. Nat. Bur Stand., **66-D**, 273-84, (Maio-Jun. 1961).

[10] — F. du Castel: «Tropospheric Radiowave Propagation beyond the Horizon», Pergamon Press (1966).

[11] — A. B. Crawford, D. C. Hogg, W. H. Kummer: «Studies in Tropospheric Propagation beyond the Horizon», B. S. T. J., **38**, n.° 5, 1067-178, (Set. 1959).

[12] — K. Davies: «Ionospheric Radio Propagation», National Bureau of Standards (1965).

[13] — D. Gjessing: «Beam-swinging Experiments» Nato Course (Set. 1967).

[14] — L. Fehlhaber, J. Grosskopf: «Propagation Measurements», Prog. in Radio Science 1963-1966, **Pt I**, 503-22 (1967).

[15] — L. Fehlhaber: «Results of Scatter Experiments over Land and their Relation to Models of the Atmosphere», Nato Course (Set. 1967).

[16] — M. Katzin, R. W. Bauchman, W. Binnian: «3 and 9 cm Propagation in Low Ocean Ducts», Proc. I. R. E., **35**, n.° 9, 891-905 (Set. 1947).

[17] — J. A. Lane, D. S. Froome, G. J. McDonnell: «Construction and Performance of an Airborne Microwave Refractometer», Proc. I.E.E., **108-B**, 398 (1961).

[18] — J. A. Lane: «Experimental Investigations of Refractive-Index Variations in the Troposphere», Prog. in Radio Science (1963-1966, Pt I, 381-400, (1967).

[19] — P. A. Matthews: «Radio Wave Propagation V. H. F. and above», Chapman and Hall, (1965).

[20] — R. W. Meadows: «Tropospheric Scatter Observations at 3,480 Mc/s with Aerials of Variable Spacing», Proc. I. E. E., 108-B, n.° 40, 349 59, (Jul. 1661).

[21] — E. C. S. Megaw: «Fundamental Radio Scatter Propagation Theory», Proc. I. E. E., 104-C, n.° 6, 441-55, (Set. 1957).

[22] — K. A. Norton: «Recent Experimental Evidence Favouring the $\rho k_1(\rho)$ Correlation Function for Describing the Turbulence of Refractivity in the Troposphere and Stratosphere», J. Atmos. Terr. Phys., 15, 206-27, (1959).

[23] — C. L. Pekeris. «Wave Theoretical Interpretation of Propagation of 10 cm and 3 cm Waves in Low Level Ocean Ducts», Proc. I. R. E., 35, 453-62, (Maio 1947).

[24] — P. L. Rice, J. W. Herbstreit: «Tropospheric Propagation», Adv. Electon. Electron Phys., 20, 199-259, (1964).

[25] — A. W. Staiton: «Measurements of the Radio Refractive Index of the Atmosphere», Adv. Radio Research, 1, 2-50, (1964).

[26] — A. T. Waterman: «A Rapid Beam-swinging Experiment in Transhorizon Propagation», Trans. I. R. E., AP-6, 338-40, (Out. 1958).

[27] — A. D. Wheelon: «Note on Scatter Propagation with a Modified Exponential Correlation», Proc. I. R. E., 43, n.° 10, 1437-49, (Out. 1955).

[28] — A. D. Wheelon: «Radio Scattering by Tropospheric Irregularities», J. Atmos. Terr. Phys., 15, 185-205, (1959).

C. D. U. 624.072.2 [539.413]

DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO SIMPLES, DE SECÇÕES DE BETÃO ARMADO, EM RELAÇÃO À ROTURA

por J. M. MADEIRA COSTA *
Engenheiro Civil

RESUMO

Apresenta-se um estudo sobre o dimensionamento à rotura de secções de betão armado, simplesmente armadas, de acordo com o actual Regulamento de Estruturas de Betão Armado.

SYNOPSIS

This paper presents a general method to design rectangular and T beams of reinforced concrete using ultimate-strength criterion.

1 — SECÇÕES SIMPLESMENTE ARMADAS

1.1 — Generalidades

Apresenta-se seguidamente, de forma sucinta, um processo de dimensionamento em relação à rotura de secções sujeitas à flexão simples, simplesmente armadas. Em artigo seguinte, será apresentado o caso de peças duplamente armadas.

Estando presentemente, em início de aplicação, o novo Regulamento de Estruturas de Betão Armado (R.E.B.A.), terá interesse a divulgação de estudos sobre este tema.

Ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil e Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto se devem, normalmente, as publicações que têm sido apresentadas no nosso País, sobre os novos conceitos para o dimensionamento do betão armado.

No estudo que é apresentado será seguido, na generalidade, o actual regulamento, fazendo-se na oportunidade, uma análise a certas limitações que, tendo interesse do ponto de vista de generalidade por permitirem aplicação às secções duplamente armadas, e à flexão composta se apresentam um tanto restritivas para secções à flexão simplesmente armadas.

De acordo com o artigo 31.º do R. E. B. A., as hipóteses de dimensionamento são as seguintes:

a) As secções mantêm-se planas na deformação;

b) O betão não resiste à tracção;

c) As propriedades do betão e do aço são as definidas no artigo 21.º

1.2 — Análise dos esforços

É, em geral, conhecido o momento de cálculo M^* (1) e pretende-se dimensionar as secções de modo que o seu momento resistente seja M^*. Por outras palavras, sob a acção de M^* os materiais betão e aço entram em cedência; ambos simultâneamente ou, um deles (em geral, o aço)

Embora esforços e deformações estejam relacionados, devido a se ter admitido que as secções se mantêm planas, faz-se primeiramente uma análise dos esforços e, em capítulo seguinte, o estudo das deformações. Ver-se-á que, no domínio em que os materiais atingem as tensões de cálculo, tal modo de proceder é possível com aproximações inferiores a outras correntemente admitidas para possibilitar o tratamento analítico deste problema.

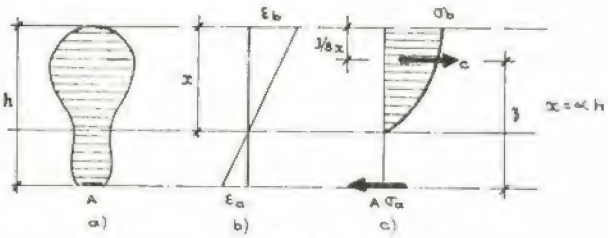


Fig. 1.1

(1) O momento de cálculo é o momento resultante das solicitações características (R. S. E. P.) multiplicado pelo coeficiente de majoração γ s (normalmente 1,5).

* Antigo Assistente do LNEC.
Antigo Chefe do Serviço de Estruturas da Profabril

Sob a acção das solicitações o betão ficará submetido a um diagrama de compressões de forma parabólica (fig. 1 c).

A força total de compressão no betão C, será igual à força total de tracção na armadura:

$$C = A \cdot \sigma_a$$

Para o caso de secções rectangulares, de largura b, sendo σ_b a tensão no betão na fibra mais solicitada, será:

$$C = \frac{2}{3} \cdot x \cdot b \cdot \sigma_b = \frac{2}{3} \cdot \alpha \cdot bh \cdot \sigma_b \quad (1.1)$$

e

$$z = h - \frac{3}{8} x = h \left(1 - \frac{3}{8} \alpha\right) \quad (1.2)$$

com

$$\alpha = \frac{x}{h} \quad (1.3)$$

Quando o betão e o aço atingem as tensões de cálculo, será:

$$M^* = C \cdot z = \sigma^*_b \cdot bh^2 \cdot \frac{2}{3} \alpha \left(1 - \frac{3}{8} \alpha\right) \quad (1.4)$$

e

$$\sigma^*_a \cdot A = \sigma^*_b \cdot bh \cdot \frac{2}{3} \alpha \quad (1.5)$$

As equações 4), 5), e 2) podem escrever-se sob a forma:

$$\eta_1 = \frac{M^*}{bh^2 \cdot \sigma^*_b} = \frac{2}{3} \alpha \left(1 \quad \frac{3}{8} \alpha\right) \quad (1.6)$$

$$\eta_2 = \frac{A}{b\,h} \times \frac{\sigma^*_a}{\sigma^*_b} = \bar{\omega}_o \frac{\sigma^*_a}{\sigma^*_b} = \frac{2}{3} \alpha \quad (1.7)$$

$$\varepsilon = \frac{z}{h} = 1 - \frac{3}{8} \alpha \quad (1.8)$$

As expressões 6), 7) e 8) são absolutamente gerais e podem ser tabeladas. Assim conhecido η_1 (dados M*, b, h, σ^*_b) pode determinar-se α que satisfaz a 6) e daí η_2 e ε. As mesmas expressões são também directamente aplicáveis não só a secções rectangulares, mas a secções *T* em que a aba comprimida tenha espessura maior ou igual a αh. O valor de $\eta_1 = \frac{M^*}{bh^2 \cdot \sigma^*_b}$, designa-se por momento flector reduzido.

Na prática corrente basta, em geral, determinar sòmente ε conhecido η_1, pelo que se anexa um ábaco com estes valores o qual fornece também os valores de α. Não se inclui η_2 para facilitar a leitura $\left(\eta_2 = \frac{2}{3} \alpha\right)$

Para a determinação de η_1 é necessário definir σ^*_b que se tira do regulamento conforme a classe do betão utilizado, assim: (1)

B 400	—	$\sigma^*_b = 225$	kgf/cm2
B 350	—	$\sigma^*_b = 200$	»
B 300	—	$\sigma^*_b = 170$	»
B 225	—	$\sigma^*_b = 130$	»
B 180	—	$\sigma^*_b = 100$	»

Estes valores divididos pelo coeficiente de majoração 1,5 correspondem perfeitamente às tensões admissíveis num dimensionamento por tensões de segurança (Art.° 22.° do R. E. B. A.).

Os valores de σ^*_a que permitem determinar $\bar{\omega}_o = \eta_2 \times \frac{\sigma^*_b}{\sigma^*_a}$, ou simplesmente $A = \frac{M^*}{\varepsilon \cdot h \cdot \sigma^*_a}$, serão definidos após o estudo do capítulo seguinte.

1.3 — Análise da deformação

Admitindo que as secções se mantêm planas, a linha neutra (x — distância da linha neutra à fibra extrema) estará relacionada com as extensões no betão e no aço, fig. 1 b, pela expressão:

$$x = \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_b + \varepsilon_a} \times h \quad (1.9)$$

donde

$$\alpha = \frac{x}{h} = \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_b + \varepsilon_a} \quad (1.10)$$

No início da cedência, por tracção:

$$\varepsilon_a = \varepsilon_c + \frac{\sigma_{ac}}{\varepsilon_a} \quad (1.11)$$

sendo, ε_c a extensão convencional de proporcionalidade no aço.

Para os aços de dureza natural é, $\varepsilon_c = o$ e para os endurecidos a frio $\varepsilon_c = 2\ ^0/_{00} = 2$mm/m

O limite superior de ε_a é fixado, para qualquer tipo de aço, em $10\ ^0/_{00}$.

---

(1) Na realidade e dado que o método é geral pode determinar-se σ^*_b pela expressão $\sigma^*_b = \frac{0,85}{1,5} \sigma_{bk}$ para qualquer betão, Anexo 1 do R. E. B. A.

Para o betão, o regulamento fixa para limite superior de ε_b, o valor 2 ‰. O C. E. B., e regulamentos conhecidos, permitem $\varepsilon_b = 3{,}5$ ‰.

A fixação deste valor é importante na medida em que, como se verá, define o valor máximo do momento resistente com o aço em cedência.

No estudo seguinte, toma-se para limite superior de ε_b o valor de 3,5 ‰ e para limite no início da cedência 2,0 ‰ (isto é para valores de ε_b inferiores a 2, 0 ‰ o betão não atingirá a cedência.

Os maiores valores de x com ambos os materiais em cedência, obtêm-se para ε_b máximo e ε_a corresponde ao limite convencional de proporcionalidade.

Os valores de ε_a referidos, para os diferentes tipos de aço considerados no regulamento, serão:

Aços de dureza natural

$$A_{24} \text{ — } \varepsilon_a = \frac{\sigma^*_a}{\varepsilon_a} = \sim 1{,}00 \text{ ‰}$$

$$A_{40}N \text{ — } \varepsilon_a = 1{,}66 \text{ ‰}$$

Aços endurecidos a frio

$$A_{40}T \text{ — } \varepsilon_a = 2 + \frac{3480}{2100} = 3{,}66 \text{ ‰}$$

$$A_{50} \text{ — } \varepsilon_a = 2 + \frac{4350}{2100} = 4{,}07 \text{ ‰}$$

$$A_{60} \text{ — } \varepsilon_a = 2 + \frac{5215}{2100} = 4{,}45 \text{ ‰}$$

$$A_{68} \text{ — } \varepsilon_a = 2 + \frac{5915}{2100} = 4{,}82 \text{ ‰}$$

Têm-se assim, os seguintes valores de α máximo, função do tipo de aço e de ε_b:

Aços de dureza natural

	$\varepsilon_b = 2$ ‰	;	$\varepsilon_b = 3{,}5$ ‰
A_{24} —	x/h = 0,666	;	0,777
$A_{40}N$ —	x/h = 0,549	;	0,678

Aços endurecidos a frio

$A_{40}T$ —	x/h = 0,353	;	0,488
A_{50} —	x h = 0,329	;	0,462
A_{60} —	x/h = 0,310	;	0,440
A_{68} —	x/h = 0,293	;	0,420

O menor valor de α com ambos os materiais em cedência, será:

$$x/h = \frac{2{,}0}{2{,}0 + 10{,}0} = 0{,}166$$

Para x/h menor que este valor o betão estará em fase elástica.

Dada uma secção (b e h), x e ω_0 crescem com M*.

Convém limitar ω_0 a valores económicos e que permitam uma execução fácil. Para valores de x demasiado grandes ω_0 atinge valores pouco económicos e, corre-se o risco, do aparecimento de fenómenos secundários que invalidem os princípios das teorias de rotura. Para valores grandes de M* a adopção de secções duplamente armadas pode tornar-se mais económica, como se verá.

Como limite admite-se x = 0,666 h, a que corresponde $\eta_1 = 0{,}333$, $\eta_2 = 0{,}444$ e $\varepsilon = 0{,}750$.

Regulamentos conhecidos adoptam para as tensões no betão, um diagrama rectangular com altura igual a $\frac{3}{4}$ x, com o máximo de o,5 h. Este valor é equivalente, portanto, ao limite aqui considerado. Também na América (ACI Code e Joint Committee Report), se limita o valor de η_1, considerando-se η_1 *máx* = 0,310, que muito se aproxima do valor aqui considerado.

Um ponto com interesse, é verificar qual o valor de ε_a e de α, para $\varepsilon_{ar} = 0$, sendo ε_{ar} a extensão residual (ver regulamento pág. 101).

Assim:

	σ^*_a	ε_a ‰	$\alpha = \frac{3{,}5}{3{,}5 + \varepsilon_a}$	$\alpha = \frac{2{,}0}{2{,}0 + \varepsilon_a}$
A 40 T —	2785 —	1,32 —	0,73 —	0,61
A 50 —	3480 —	1,66 —	0,68 —	0,55
A 60 —	4175 —	1,99 —	0,64 —	0,50
A 68 —	4760 —	2,21 —	0,62 —	0,48

Para $\varepsilon_b = 3{,}5$ ‰ os valores de α acompanham sensìvelmente o valor 0,666 considerado.

A fig. 2 apresenta os diagramas de extensões correspondentes aos casos analisados.

Do estudo anterior conclui-se que:

— quando a linha neutra se situa acima do ponto *A* (x = 0,166h), a extensão no betão é inferior a 2 ‰;

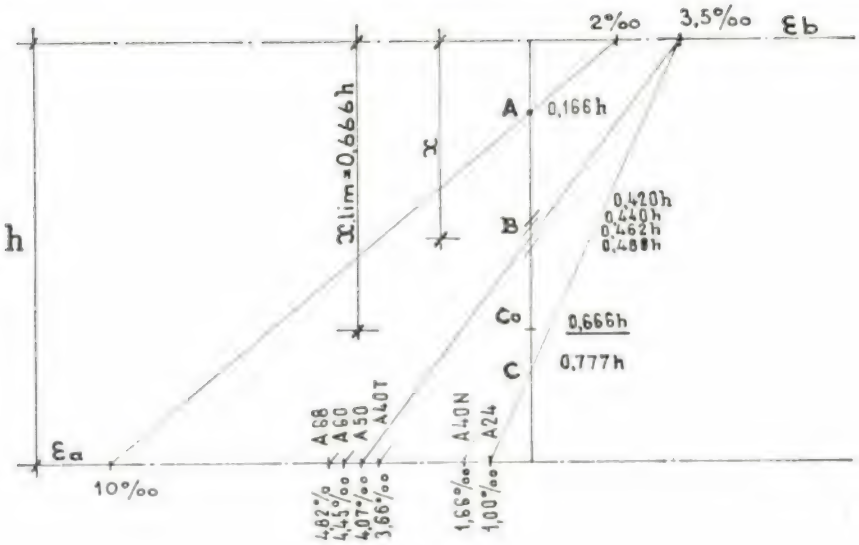


Fig. 1.2

— quando a linha neutra se situa no ponto limite admitido, 0,666h (ponto C_0), os aços de dureza natural ainda atingem tensões de cedência, mas as tensões nos aços endurecidos a frio serão inferiores aos respectivos limites convencionais proporcionalidade;

— os aços endurecidos a frio só atingem as tensões limites convencionais de proporcionalidade quando a linha neutra se situa acima dos pontos B;

— quando a linha neutra se situa entre os pontos B e o valor limite C_0 a armadura terá de ser dimensionada para tensões inferiores aos limites convencionais de proporcionalidade;

— a fixação de $\varepsilon_d = 2\,^0/_{00}$, como faz o actual regulamento, vai subir os pontos *B*, diminuindo a capacidade resistente das secções ou exigindo a utilização da armadura dimensionada para tensões inferiores aos limites convencionais de proporcionalidade para momentos menores.

Apresenta-se seguidamente o valor das tensões, nos diferentes aços, quando $x = 0{,}666$ h e $\varepsilon_b = 3{,}5\,^0/_{00}$.

	ε_a	σ_a kgf/cm²
Aços de dureza natural		
A_{24}	1,76	2090
$A_{40}N$	1,76	3480
Aço endurecido a frio		
$A_{40}T$	1,76	3100
A_{50}	1,76	3600
A_{60} e A_{68}	1,76	3700

Dado que os momentos resistentes das secções são dados por:

$M^* = \eta_1 \,.\, bh^2 \,.\, \sigma_b^*$, com o auxílio do ábaco já referido, podem determinar-se os maiores valores de η_1 que correspondem ao funcionamento com ambos os materiais em cedência. Têm-se assim os seguintes valores de η_1:

	$\varepsilon_b = 2\,^0/_{00}$;	$\varepsilon_b = 3{,}5\,^0/_{00}$;	$^0/_0$ de acréscimo
Aços de dureza natural			
A_{24}	0,333	0,333	1,00
$A_{40}N$	0,290	0,333	1,14
Aços endurecidos a frio			
$A_{40}T$	0,204;	0,266 ;	1,32
A_{50}	0,192;	0,254 ;	1,32
A_{60}	0,182;	0,245 ;	1,34
A_{68}	0,174;	0,236 ;	1,35

Verifica-se que admitir $\varepsilon_b = 3{,}5\,^0/_{00}$ em vez de $\varepsilon_b = 2{,}0\,^0/_{00}$ permite aumentar o momento resistente máximo em mais de 32 $^0/_0$ no caso dos aços endurecidos, mantendo-se estes sob tensão maior ou igual ao limite convencional de proporcionalidade.

Na determinação da armadura, a adopção de 3,5 ‰ em vez de 2 ‰ conduzirá, para os grandes momentos, a uma redução da % de armadura que normalmente será inferior a 10 %, valor, no entanto, já significativo.

Para o caso de secções duplamente armadas, cujo estudo não se inclui neste capítulo, a manter-se o critério do C.E.B. (ε_a máximo em compressão igual a 2 ‰) terá então, de limitar-se ε_b a 2 ‰, ou a valores pouco maiores conforme o recobrimento da armadura.

Conforme se referiu para valores de $\alpha < 0{,}166$ o betão não atingirá a cedência. Os erros cometidos usando a mesma teoria são, no entanto pequenos, mas o problema pode ainda simplificar-se.

Com efeito demonstra-se que:

$$\eta_2 = \frac{1}{\varepsilon} \times \eta_1$$

Com erros inferiores a 1,5 % e para valores de $\alpha < 0{,}13$ pode tomar-se:

$$\eta_2 = 1{,}04\ \eta_1 \qquad (1.12)$$

A finalizar este capítulo estudam-se, seguidamente, quais os valores de σ_a^* a considerar.

Como se verifica, quando a linha neutra está acima dos pontos B, o aço irá trabalhar a uma tensão intermédia entre a correspondente à extensão de 10 ‰ e à tensão limite convencional de proporcionalidade.

No caso dos aços de dureza natural tem-se imediatamente os valores de σ_a^*.

Para os aços endurecidos a frio, tomando a tensão correspondente a uma extensão de 5 ‰, o erro é inferior a 4 %, e a rotura dar-se-á pelo betão.

Assim, obtém-se:

A_{24} — $\sigma_a^* = 2090$ kgf/cm²
$A_{40}N$ — $\sigma_a^* = 3480$ »
$A_{40}T$ — $\sigma_a^* = 3600$ »
A_{50} — $\sigma_a^* = 4500$ »
A_{60} — $\sigma_a^* = 5350$ »
A_{68} — $\sigma_a^* = 6050$ »

Estes valores divididos pelo coeficiente de majoração $\gamma_s = 1{,}5$ fornecem, respectivamente — 1400; 2300; 2400; 3000; 3550; 4000 kgf cm², que correspondem às tensões admissíveis num dimensionamento por tensões de segurança (Art.º 22.º do R.E.B.A.)

Quando α é maior que α máximo, o aço estará sob tensão inferior ao limite convencional de proporcionalidade o que corresponde, normalmente, a secções anti-económicas e, portanto, de evitar. O seu dimensionameno poderá, no entanto, ser efectuado da forma seguinte:

Conhecido α, que será limitado ao valor 0,666, determina-se a extensão no aço ε_a.

Da expressão (1.10) tem-se:

$$\varepsilon_a = \varepsilon_b \left(\frac{1}{\alpha} - 1\right) \qquad (1.13)$$

Conhecido ε_a é possível determinar σ_a a partir dos diagramas e valores regulamentares (pág. 100 e 101 do regulamento).

Do estudo efectuado parece poder concluir-se que, para M* grande (valores de x grandes e pequenas extensões no aço) será mais económico do ponto de vista de armadura, a adopção dum dimensionamento por tensões de segurança, para M* pequeno será mais económico um dimensionamento à rotura desde que se acompanhe o diagrama tensões-extensões regulamentar.

Utilizando os valores indicados neste trabalho, os dois dimensionamentos devem conduzir a resultados muito semelhantes no que se refere a armadura, quando a linha neutra se situa acima dos pontos B.

No que se refere ao betão o dimensionamento à rotura permite utilizar a mesma classe de betão para maiores valores de M.

1.4 — Resumo das condições de aplicação

a) *Determinação da armadura de tracção* **A**

Procede-se da seguinte forma:

— determina-se η_1;
— do ábaco, ou tabela, tira-se ε e verifica-se α;
— se α é menor que α *máx* (0,666; 0,448; 0,462; 0,440; 0,420) determina-se A a partir de ε;

— para α maior que aqueles valores o aço não entra em cedência e será, em princípio, mais conveniente aumentar a secção ou considerar uma secção duplamente armada.

— expressões gerais:

$$\eta_1 = \frac{M^*}{b \cdot h^2 \cdot \sigma_b^*} \; ; \qquad A = \frac{M^*}{\varepsilon \cdot h \cdot \sigma_a^*} \; ; z = \varepsilon \cdot h$$

ou

$$\omega_0 = \eta_2 \times \frac{\sigma_b^*}{\sigma_a^*} \quad \text{com } \eta_2 = \frac{2}{3}\alpha$$

— para $\alpha < 0{,}13$, pode utilizar-se também $\eta_2 = 1{,}04\ \eta_1$

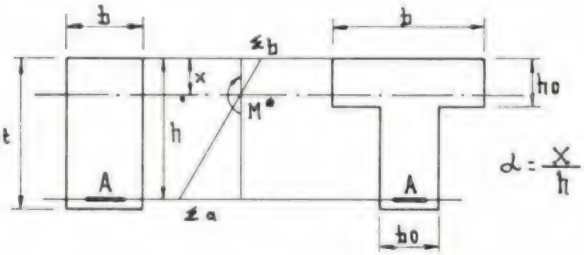


Fig. 1.3

b) *Determinação de M**

Dada uma secção, b, h, σ_b^*, σ_a^* e A pretende-se determinar M*.

O valor de M* pode ser limitado pela armadura ou pelo betão.

Procede-se da forma seguinte:

— calcula-se $\alpha = \frac{3}{2} \frac{A}{b.h} \times \frac{\sigma^*_a}{\sigma^*_b}$;

se α é menor que α *máx* correspondente ao tipo de aço (0,666; 0,488; 0,462; 0,440 e 0,420), M* é limitado pelo aço; do ábaco tira-se ε ou η_1 em função de α e tem-se:

$$M^* = \varepsilon \cdot A.h.\ \sigma^*_a \quad , \text{ ou}$$

$$M^* = \eta_1 \cdot bh.^2\ \sigma^*_b \quad ;$$

se α é maior que α *máx* a secção é super-armada e M* é limitado pelo betão; neste caso

$$M^* = \eta_1 \cdot bh.^2\ \sigma^*_b$$

com η_1 =

= 0,333 — para os aços naturais
= 0,266 — » » » $A_{40}T$
= 0,254 — » » » A_{50}
= 0,245 — » » » A_{60}
= 0,236 — » » » A_{68}

1.5 — **Exemplos**

1 — Determinar a máxima % de armadura a utilizar numa secção rectangular simplesmente armada, contituída por betão B225 e aço A_{24}.

Para $\alpha = 0{,}666$ é $\eta_1 = 0{,}333$ e $\eta_2 = 44{,}4\,\%$

donde $\bar{\omega}_0 = 44{,}4\,\% \ \frac{130}{2090} = 2{,}76\,\%$

Pelo regulamento obtém-se o mesmo valor.

2 — Idem para betão B225 e aço $A_{40}T$

Para $\alpha = 0{,}488$, é $\eta_1 = 0{,}266$ e $\eta_2 = 32{,}57\,\%$,

donde $\bar{\omega}_0 = 32{,}57\,\% \ \frac{130}{3600} = 1{,}18\,\%$

pelo regulamento obtém-se $\bar{\omega}_0 = 1{,}28\,\%$, 10 % maior que 1,18 %.

3 — Idem para B350 e aço A_{68}

Para $\alpha = 0{,}420$ é $\eta_1 = 0{,}236$ e $\eta_2 = \frac{2}{3} \times$ $\times\ 0{,}420 = 0{,}28$,

donde

$$\bar{\omega}_0 = 0{,}28\ \frac{200}{6050} = 0{,}93\,\%$$

Pelo regulamento obtém-se 1,05 % ou seja 11 % maior que 0,93 %.

4 — Dada uma secção com b = 25 cm, B225, $A_{40}T$, calcular a armadura para

$$M^* = 1{,}5 \times 10{,}0 = 15{,}0 \text{ tf.m}$$

$$\eta_1 = \frac{15 \times 10^5}{25 \times 50^2 \times 130} = 0{,}185, \text{ donde}$$

$\alpha = 0{,}315$, $\eta_2 = 20{,}97$, $\varepsilon = 0{,}882$ (tirado do ábaco)

$$\bar{\omega}_0 = 20{,}97 \times \frac{130}{3600} = 0{,}755\,\%$$

$$A = 0{,}755 \times \frac{25 \times 50}{100} = 9{,}4 \text{ cm}^2$$

ou, simplesmente, usando ε

$$A = \frac{15 \times 10^5}{3600 \times 50 \times 0{,}882} = 9{,}4 \text{ cm}^2$$

Fazendo-se um dimensionamento por tensões de segurança obtinha-se:

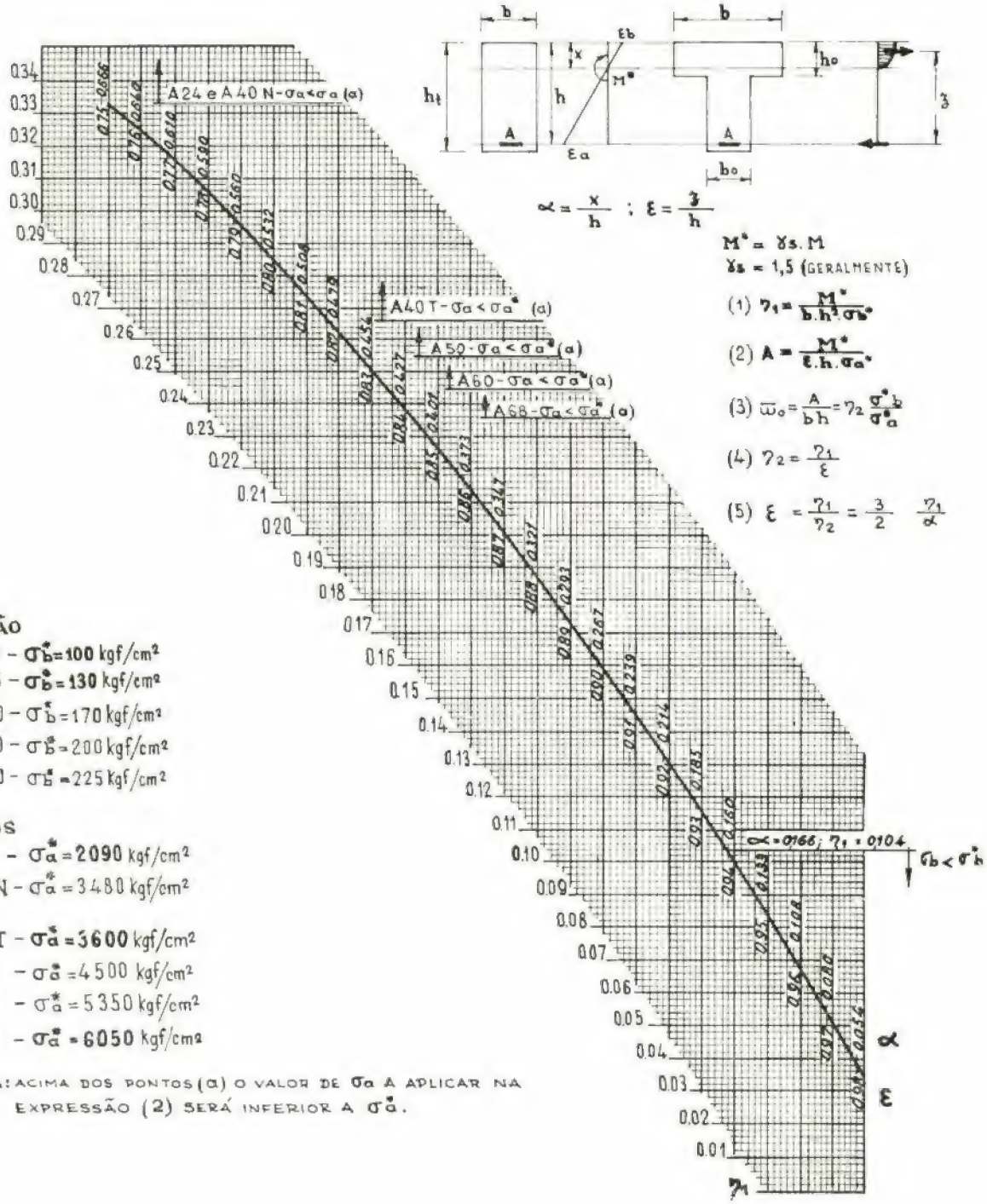
$$d = \frac{10 \times 10^5}{25 \times 50^2} = 16 \; ; \; R'_a = 2400 \; ; \; R'_b = 97 \; ;$$

$\omega_0 = 0{,}76$

ÁBACO PARA O DIMENSIONAMENTO DE SECÇÕES À FLEXÃO SIMPLES

— Secções rectângulares e em T ($\alpha h \leq h_0$), simplesmente armadas —

CÁLCULO À ROTURA



$\alpha = \frac{x}{h}$; $\varepsilon = \frac{\xi}{h}$

$M^* = \gamma_s . M$

$\gamma_s = 1,5$ (GERALMENTE)

(1) $\eta_1 = \frac{M^*}{b.h^2.\sigma_b^*}$

(2) $A = \frac{M^*}{\varepsilon.h.\sigma_a^*}$

(3) $\varpi_0 = \frac{A}{bh} = \eta_2 \frac{\sigma_b^* b}{\sigma_a^*}$

(4) $\eta_2 = \frac{\eta_1}{\varepsilon}$

(5) $\varepsilon = \frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{3}{2} \frac{\eta_1}{\alpha}$

BETÃO

B 180 – $\sigma_b^* = 100$ kgf/cm²
B 225 – $\sigma_b^* = 130$ kgf/cm²
B 300 – $\sigma_b^* = 170$ kgf/cm²
B 350 – $\sigma_b^* = 200$ kgf/cm²
B 400 – $\sigma_b^* = 225$ kgf/cm²

AÇOS

A24 – $\sigma_a^* = 2090$ kgf/cm²
A40N – $\sigma_a^* = 3480$ kgf/cm²

A40T – $\sigma_a^* = 3600$ kgf/cm²
A50 – $\sigma_a^* = 4500$ kgf/cm²
A60 – $\sigma_a^* = 5350$ kgf/cm²
A68 – $\sigma_a^* = 6050$ kgf/cm²

NOTA: ACIMA DOS PONTOS (a) O VALOR DE σ_a A APLICAR NA EXPRESSÃO (2) SERÁ INFERIOR A σ_a^*.

Obtém-se a mesma armadura mas seria necessário utilizar B300.

Utilizando B300, num dimensionamento à rotura tinha-se:

$$\eta_1 = 0{,}141 \; ; \; \bar{\omega}_o = \frac{15{,}44}{100} \times \frac{170}{3600} = 0{,}73\,\%$$

5 — Idem para $M^* = 3{,}0$ tf.m

$\eta_1 = 0{,}037$; $\eta_2 = 1{,}04 \times 0{,}037 = 0{,}0385$; $\varepsilon = 0{,}979$ (tirado do ábaco)

$$\bar{\omega}_o = \frac{3{,}85}{100} \times \frac{130}{3600} = 0{,}138\,\%$$

$$A = 0{,}138 \times 2{,}5 \times 5{,}0 = 1{,}8 \text{ cm}^2$$

ou simplesmente:

$$A = \frac{3 \times 10^5}{0{,}979 \times 50 \times 3600} = 1{,}7 \text{ cm}^2$$

Num dimensionamento por tensões de segurança, ter-se-ia

$d = 3{,}2$; $R_a = 2400$; $R_b = 37$;
$\bar{\omega}_o = 0{,}138$

6 — Idem para $M^* = 30{,}0$ tf.m

$\eta_1 = 0{,}37$ e $\alpha = 0{,}777 > 0{,}488$,

$\varepsilon = \frac{3}{2}\frac{\eta_1}{\alpha} = 0{,}71$ (excede os domínios de aplicação do ábaco).

O aço estará sob solicitação inferior ao limite convencional de proporcionalidade

$\varepsilon_a = 3{,}5\ (1{,}30 - 1) = 1{,}0\,‰$, $\varepsilon_{ar} = 0$ e, portanto,

$\sigma_a = 2{,}1 \times 10^6 \times 1{,}0 \times 10^{-3} = 2100$ kg/cm²

$\varepsilon = 0{,}71$

$$A = \frac{30 \times 10^5}{0{,}71 \times 50 \times 2100} = 40 \text{ cm}^2 \ (\omega_o = 3{,}2\,\%)$$

Comparando com o exemplo 4), verifica-se que para absorver o dobro do momento é necessário utilizar 4,3 mais armadura.

Se se utilizasse a limitação do regulamento, $\varepsilon_b = 2\,‰$, tinha-se $\bar{\omega}_o \simeq 5{,}0\,\%$.

Usando uma secção duplamente armada obter-se ia para ω total (armadura de tracção mais compressão) cerca de 2,2%.

7 — Determinar a capacidade resistente duma secção constituída com B225, $A = 8{,}0$ cm², $A_{40}T$, $b = 20$ cm, $h = 30$ cm.

$$M^* = 0{,}266 \times 20 \times 30^2 \times 130 = 6{,}2 \text{ tf.m}$$

$$A = \frac{6{,}2 \times 10^2}{0{,}816 \times 30 \times 3600} = 7{,}0 \text{ cm}^2$$, o momento é limitado pelo betão

8 — Idem com $A = 4{,}0$ cm²

$$\alpha = \frac{3}{2} \cdot \frac{A}{bh} \cdot \frac{\sigma^*_a}{\sigma^*_b} = \frac{3}{2} \times \frac{4{,}0}{20 \times 30} \times \frac{3.600}{130} = 0{,}275 \; ;$$

$\eta_1 = 0{,}165$; $M^* = 0{,}165 \times 20 \times 30^2 \times 130 = 3{,}7$ t. m

9 — Para facilidade de comparação apresentam-se seguidamente tabelas de valores da % de armadura necessária, para vários valores de $\mu = \frac{M}{bh^2}$ (M — momento característico), no caso dos aços A_{24} e $A_{40}T$, utilizando o dimensionamento por tensões de segurança e à rotura regulamentares, e o ábaco apresentado neste estudo.

Aço «$A_{40}T$»

μ	ω_o 1)	ω_o 2)	ω_o 3)	ω_o 4)	ω_o 5)
3	0,134	0,123	0,123	0,125	—
5	0,225	0,208	0,206	0,216	0,213
10	0,446	0,433	0,421	0,453	0,444
15	0,712*	0,710	0,667	0,705	0,675
20	0,971*	1,037	0,952	0,990	0,940

* - B 300 ;

Aço «A_{24}»

μ	ω_o 1)	ω_o 2)	ω_o 3)	ω_o 4)	ω_o 5)
3	0,231	0,222	0,221	0,216	—
5	0,394	0,374	0,372	0,375	0,370
10	0,830	0,772	0,760	0,777	0,766
15	1,268	1,209	1,172	1,210	1,170
20	1,735*	1,697	1,617	1,705	1,620

*B - 300

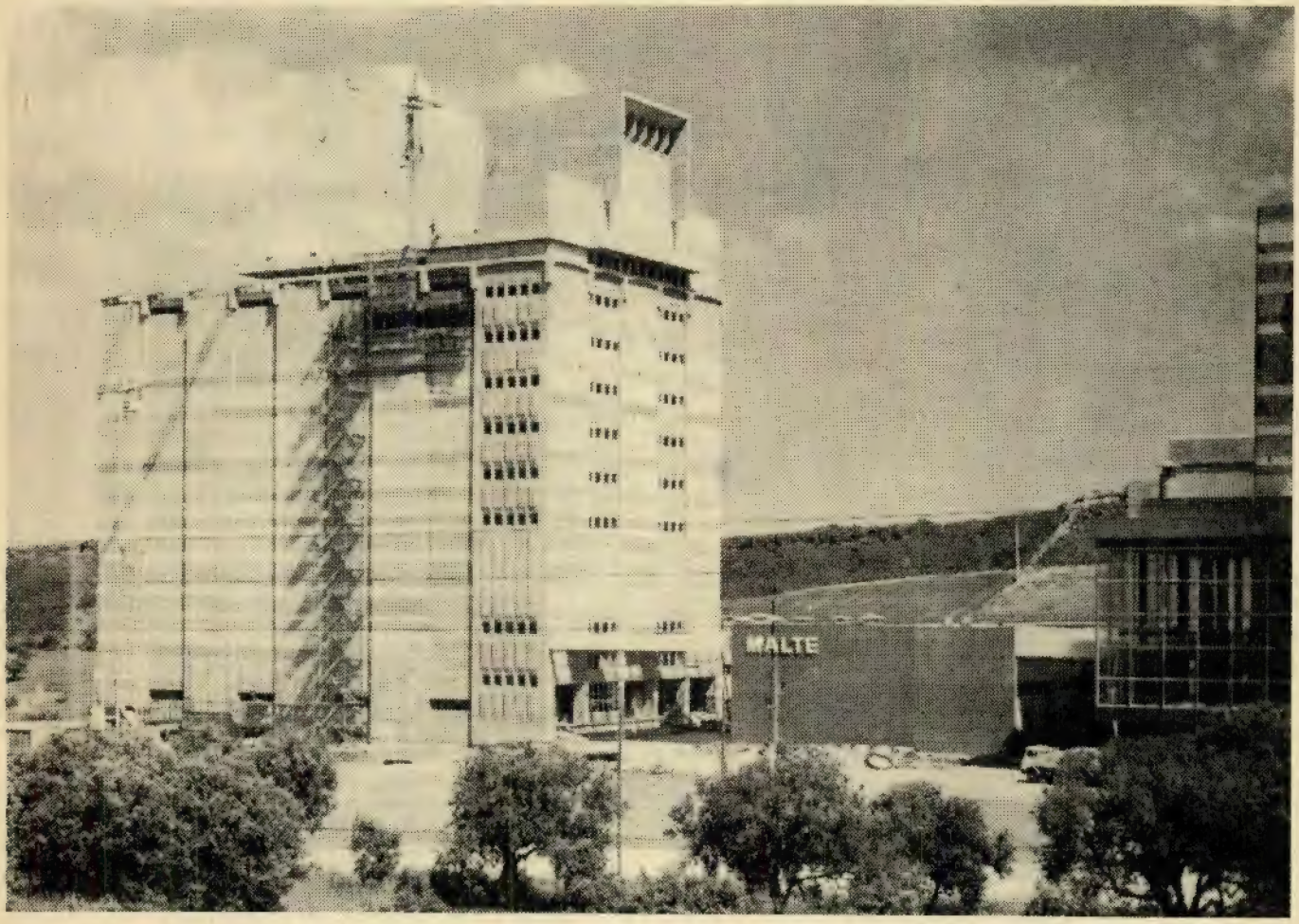
1 — dimensionamento por tensão de segurança
2 — dimensionamento à rotura (B 225)
3 — dimensionamento à rotura (B 300)
4 — dimensionamento pelo ábaco (B 225)
5 — dimensionamento pelo ábaco (B 300)

CONSTRUÇÕES TÉCNICAS, LDA.

PRAÇA DO MUNICÍPIO, 13-3º TELEF. 366506 LISBOA 2

DELEGAÇÕES:

CABO-VERDE • ANGOLA • MOÇAMBIQUE



Silo de 20 000 t para cevada e malte

Novas Instalações da Sociedade Central de Cervejas, em Vialonga

PROSPECÇÃO GEOTÉCNICA • FUNDAÇÕES ESPECIAIS

OBRAS MARÍTIMAS E PORTUÁRIAS • PONTES E VIADUTOS

CONSTRUÇÕES CIVIS • CONSTRUÇÕES INDUSTRIAIS

INDUSTRIAIS TEXTEIS

PARA OS VOSSOS MANCHONS, FLANELAS, TRANSPORTADORES,
E TODOS OS TECIDOS TÉCNICOS

EM FIBRAS NATURAIS OU SINTÉTICAS

Consultem:

FÁBRICA NACIONAL DE FELTROS INDUSTRIAIS
SOCIEDADE LIMITADA

APART.: 9
TELEF.: 52091 PBX
TELEG.: FELTROS

OVAR
PORTUGAL

ESCRITÓRIO E FÁBRICA
ESTRADA DE S. JOÃO

Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações, L.da

(SONDADORA)

SONDAGENS geológicas e geotécnicas — CAPTAÇÕES de águas subterrâneas — REBAIXAMENTOS do nível freático — CONSOLIDAÇÕES E ESTABILIZAÇÃO do solo — INJECÇÕES DE CIMENTO e outros produtos — INFRAESTRUTURAS de barragens, túneis e pontes — FUNDAÇÕES de todos os tipos

Única Empresa da especialidade com sede no Ultramar Português

DELEGAÇÃO - LISBOA
R.S.Pedro de Alcântara, 1
Tel. 32 46 93 e 21 32 56

SEDE - LUANDA
Rua Serpa Pinto, 60
C.P.2178 - Tel.4226

MOÇAMBIQUE
L.Marques - C.P.982 - Tel.74 11 21
Beira - C.P. 1002 - Tel. 71497

C. D. U. 543.244.6 [546.41 : 546.46

DETERMINAÇÃO COMPLEXOMÉTRICA DO CÁLCIO E DO MAGNÉSIO EM DOLOMITES

por MARIA JOAQUINA SILVÉRIO
MARIA DE LOURDES FREIRE
Laboratório de Química-Física
Grupo de Laboratórios de Química e Biologia
Instituto Nacional de Investigação Industrial

RESUMO

Estuda-se a determinação complexométrica de cálcio e magnésio em presença de ferro, alumínio e manganês e a eliminação de interferências por complexação, por precipitação e por extracção com solventes orgânicos. Comparam-se os resultados obtidos e os desvios encontrados. Aplicam-se os métodos à determinação do cálcio e do magnésio em dolomites.

SYNOPSIS

Calcium and magnesium chelatometric determinations in presence of iron, aluminium and manganese are studied. Masking, precipitation and solvent extraction are used to eliminate the action of interfering metals. Results and deviations are compared. The methods were studied for dolomites.

1. INTRODUÇÃO

Diversos autores têm utilizado o EDTA na titulação complexométrica do cálcio e do magnésio, em dolomites e outros materiais calcários.

De uma maneira geral o cálcio é determinado numa parte alíquota da solução proveniente do ataque, utilizando murexida como indicador e o magnésio noutra parte alíquota empregando negro de eriocromo na detecção do ponto de viragem. O magnésio determina-se por diferença após titulacão do cálcio e cálcio + magnésio ou após separação do cálcio por precipitação, sob a forma de oxalato.

A escolha do método a seguir tem de ter em conta o grau de contaminação e proveniência da amostra, com vista à eliminação de interferências.

No presente trabalho fez-se o estudo comparativo da determinação de cálcio e mágnésio por diferentes processos em presença de ferro, alumínio e manganês.

Começou por verificar-se os teores máximos daqueles elementos que não interferem na titulação de cálcio e magnésio. Seguidamente estudou-se a eliminação de interferentes por complexação, por extracção com solventes orgânicos e por precipitação.

Os métodos foram aplicados à determinação de cálcio e magnésio em seis amostras de dolomites, comparando os resultados obtidos bem como os desvios encontrados.

2. MÉTODOS ESTUDADOS

2.1. — Ataque da amostra

Para obtenção do cálcio e do magnésio em solução fez-se o ataque das amostras de dolomite pulverizadas com ácidos perclórico e clorídrico.

2.1.1. — Técnica

Pesar 1 a 2 g da amostra devidamente pulverizada e homogeneizada e transferir para copo de 250 cm^3.

- Adicionar 10 cm^3 de água bidestilada e 10 cm^3 de ácido perclórico.
- Agitar, tapar com vidro de relógio e aquecer durante algumas horas em banho de areia ou placa eléctrica até que a solução fique incolor.
- Retirar o vidro de relógio e evaporar à secura.
- Arrefecer e dissolver o resíduo em 3 cm^3 de HCl 1:1 e 10 cm^3 de água bidestilada.
- Filtrar para balão de 250 cm^3 perfazendo o volume com água bidestilada.

2.2. — Eliminação de interferências

Começou por estudar-se os teores mínimos de ferro, alumínio e manganês, que interferem nas determinações.

Nos ensaios realizados utilizaram-se sempre soluções padrão contendo 1 mg de cálcio, 1 mg de magnésio e 0,2 mg, 0,5 mg e 1 mg de elementos interferentes.

Seguiu-se o estudo da eliminação de interferentes por complexação, precipitação ou extracção, para teores de 1 mg de todos os elementos presentes.

Não se estudou a interferência de teores superiores daqueles elementos, uma vez que nas dolomites os teores presentes não atingem valores acima dos de cálcio e magnésio.

2.2.1 — Eliminação de interferências por adição de agentes complexantes.

Na eliminação de interferências por adição de agentes complexantes, a solução amostra é tratada com substâncias que formam complexos fortes com os iões interferentes e muito fracos com os iões a dosear.

Utiliza-se o cianeto de potássio na complexação de zinco, níquel, cobalto, cádmio e cobre com os quais forma complexos muito estáveis, permitindo a titulação de cálcio e magnésio em presença daqueles iões metálicos.

A trietanolamina é usada na complexação dos iões alumínio, ferro e manganês. É especialmente útil quando se titula em presença de murexida. Em soluções contendo Fe (III) quando se adiciona trietanolamina aparece uma cor intensa amarela acastanhada que desaparece em geral com a adição de NaOH.

Em soluções alcalinas o manganês forma um complexo verde de Mn (III). Devido à intensidade desta cor, quando se titula em presença de murexida, podem apenas mascarar-se 3 mg de manganês com trietanolamina. Em titulações que utilizem o negro de eriocromo este é oxidado pelo complexo de Mn (III). Adiciona-se então, hidroxilamina para o reduzir.

2.2.1.1. — *Técnica*

Adicionar à solução a titular 5 cm^3 de KCN a 5 % e 5 cm^3 de trietanolamina a 30 %.

Quando existem altos teores em magnésio, antes da adição da trietanolamina, juntar cloreto de amónio para evitar a precipitação de hidróxido de magnésio.

2.2.2. — Eliminação de interferências por precipitação

Precipita-se o ferro e alumínio com hidróxido de amónio, em ligeiro excesso. Quando as soluções se destinam à determinação de magnésio a precipitação faz-se em presença de cloreto de amónio, para evitar o arrastamento daquele.

Após filtração, o cálcio e magnésio determinam-se no filtrado.

2.2.2.1. — *Técnica*

Para erlenmeyer de 150 cm^3, tomar partes alíquotas da solução a analisar.

- Adicionar cerca de 2 g de cloreto de amónio, no caso das tomas que se destinam à determinação de magnésio.
- Aquecer e adicionar hidróxido de amónio concentrado até ligeiro cheiro a amónia.
- Ferver a solução e filtrar.
- Recolher os filtrados e águas de lavagem em erlenmeyers de 150 cm^3 para as determinações de cálcio e cálcio + magnésio.

2.2.3. — Eliminação de interferências por extracção com solventes orgânicos

Os iões cobre, ferro e manganês formam, em meio ácido, complexos com o dietilditiocarbamato de sódio, solúveis em clorofórmio, podendo separar-se, assim, do cálcio e magnésio que se determinam na fase aquosa.

2.2.3.1. — *Técnica*

Para ampola de decantação de 125 cm^3, tomar uma parte alíquota da solução a analisar e acertar o pH de 1 a 4 com HCl ou NaOH, verificando por toque em papel.

Adicionar 30 a 50 mg de dietildiocarbamato de sódio e agitar durante dois minutos.

Juntar 15 cm^3 de clorofórmio e agitar.

Deixar repousar, eliminar a fase orgânica e repetir a extracção com 5 cm^3 de clorofórmio até que a solução fique incolor.

Titular o cálcio e magnésio na solução aquosa.

2.3. — Determinação do cálcio

A determinação complexométrica do cálcio faz-se por titulação directa com solução padrão de EDTA, a pH 12 utilizando murexida ou calcon como indicador.

O EDTA forma com o cálcio um complexo 1:1, incolor, de constante de eslabilidade $K = 10^{10,6}$ seguindo a reacção

$$Ca^{2+} + Y^{4-} \rightleftarrows CaY^{2-}$$

A complexação é complecta acima de pH 7,5.

A murexida (sal de amónio do ácido purpúrico) quando livre apresenta uma variação de cor com o pH de acordo com o esquema:

$$H_4I^- \rightleftarrows H_3I^{2-} \rightleftarrows H_2I^{3-}$$

vermelho pH9 violeta pH 11 violeta azulado violeta

Como o indicador forma com o cálcio um complexo vermelho, deve trabalhar-se em meio fortemente alcalino para que possa detectar-se a viragem que se dá, então, de vermelho para violeta azulado.

2.3.1. — Técnica

A uma toma da solução proveniente do ataque da amostra, ou após separação de interferentes, adicionar cerca de 20 cm^3 de água bidestilada e neutralizar com NaOH.

— Adicionar 10 cm^3 de NaOH, 1N, os agentes de complexação, quando necessário, e 20 a 30 mg de murexida ou calcon.

— Agitar e titular com solução de EDTA até viragem de vermelho a violeta (com a murexida) ou vermelho a azul (com o calcon). No caso de se utilizar o calcon como indicador, aquecer antes da adição do indicador e titular a quente.

Acompanhar os ensaios com um ensaio em branco.

O volume de EDTA gasto dá-nos o teor em cálcio na toma, expresso em OCa pela relação·

1 cm^3 EDTA 0,01 M ≡ 0,560 mg OCa

visto que

1 cm^3 EDTA 0,01 M ≡ 0,4008 mg Ca

2.4. — Determinação de magnésio

O magnésio doseia-se simultâneamente com o cálcio titulando com EDTA o pH 10 e detectando a viragem com negro de eriocromo.

O magnésio determina-se, então, por diferença, conhecido o volume de EDTA gasto na titulação do cálcio numa toma igual, pelo método indicado em 2.3.

O EDTA forma com o magnésio um complexo incolor de constante de estabilidade $K = 10^{8,7}$.

A reacção de complexação é idêntica à do cálcio.

$$Mg^{2+} + Y^{4-} \rightleftarrows MgY^{2-}$$

O negro de eriocromo quando livre e consoante o pH apresenta diferentes graus de dissociação, acompanhada de mudança de cor

$$H_2I^- \underset{+H^+}{\overset{-H^+}{\rightleftarrows}} HI^{2-} \underset{+H^+}{\overset{-H^+}{\rightleftarrows}} I^{3-}$$

Vermelho pH 6 azul pH 12 laranja

Na zona ácida o indicador não é utilizável uma vez que a sua cor quando livre é a mesma que a do seu complexo com os iões metálicos Ca e Mg. Além disso, estes só são totalmente complexados pelo EDTA acima de pH 7,5. A viragem é nítida entre pH 7 e 11.

Trabalha-se a pH 10 tamponizando a solução com tampão de hidróxido de amónio, cloreto de amónio.

2 4.1 — Técnica

— Tomar 5 a 10 cm^3 da solução proveniente do ataque da amostra ou após separação de interferentes, adicionar cerca de 25 cm^3 de água bidestilada e neutralizar com amónia.

— Juntar 5 cm^3 de tampão pH 10, os agentes de complexação, quando necessário, e 20 a 30 mg de indicador negro de eriocromo.

— Agitar e titular com solução de EDTA 0,01 M até viragem do indicador de vermelho a azul puro.

O volume de EDTA gasto corresponde ao cálcio e magnésio, determinando-se por diferença o volume de EDTA correspondente à titulação de magnésio. O teor deste, expresso em OMg é dado pela seguinte relação:

1 cm^3 EDTA 0,01 M ≡ 0,4032 mg OMg

uma vez que

1 cm^3 EDTA 0,01 M ≡ 0,2432 mg Mg

3. — PARTE EXPERIMENTAL

3.1. — Material e reagentes

Os reagentes utilizados foram todos para análise e a água bidestilada e desionizada em aparelho de quartzo.

- — Solução padrão de cálcio — preparar a partir de $CaCO_3$ uma solução contendo 1 mg/cm^3 de cálcio.
- — Solução padrão de magnésio — preparar a partir de MgO uma solução contendo 1 mg/cm^3 de magnésio.
- — Solução padrão de ferro — preparar a partir de $(NH_4)_2SO_4Fe_2(SO_4)3$, 24 H_2O uma solução contendo 1 mg/cm^3 de ferro.
- — Solução padrão de alumínio — preparar a partir de alumínio espectrogràficamente puro uma solução contendo 1 mg/cm^3 de alumínio.
- — Solução padrão de manganês — preparar a partir de $MnSO_4$, H_2O uma solução contendo 1 mg/cm^3 de manganês.
- — Solução de complexona III 0,01 M padronizada com solução padrão de calcio.
- — Solução de ácido perclórico a 60 %
- — Acido clorídrico concentrado
- — Ácido clorídrico 1 : 1
- — Ácido nítrido concentrado
- — Solução de hidróxido de sódio 1 N
- — Solução tampão pH 10 — dissolver 60 g de NH_4Cl em 200 cm^3 de água bidestilada, adicionar 570 cm^3 de NH_4OH concentrado e perfazer 1000 cm^3
- — Dietilditiocarbonato de Sódio
- — Solução de cianeto de potássio a 5 %
- — Clorofórmio
- — Solução de trietanolamina a 30 %
- — Indicador murexida — Moer 100 mg de indicador com 10 g de NaCl
- — Indicador calcon — Moer 100 mg de indicador com 10 g de NaCl.
- — Indicador negro de eriocromo — Moer 100 mg de indicador com 10 g de NaCl.

3.2. — Resultados obtidos

Os resultados obtidos nas titulações de padrões de cálcio e magnésio, em presença de ferro, alumínio e manganês e após eliminação de interferências pelos diferentes métodos estudados, resumem-se no Quadro I.

No Quadro II apresentam-se os desvios dos valores obtidos nas diferentes determinações.

O cálculo do teor em magnésio foi feito tendo em conta os valores obtidos para o cálcio quando se utilizou como indicador murexida e quando se utilizou calcon. Os últimos resultados encontram-se dentro de parêntesis.

Os teores de cálcio e magnésio determinados em seis amostras de dolomites pelos diferentes métodos encontram-se do Quadro III. Os valores dentro de parêntesis referem-se a determinações de magnésio em que a separação de interferentes por precipitação, foi feita na ausência de NH_4Cl. Nas amostras de dolomites utilizou-se, apenas, murexida como indicador no doseamento do cálcio.

4. — DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Para teores de cálcio e magnésio de 1 mg verificou-se, ao fazer o estudo das interferências que:

- — na determinação do cálcio com murexida, o ferro interfere para teores superiores a 0,5 mg, o manganês para teores superiores ou iguais a 0,5 mg e o alumínio não interfere para teores inferiores ou iguais a 1 mg.
- — no doseamento do cálcio com calcon, o ferro interfere já para teores superiores ou iguais a 0,2 mg, verficando-se para o alumínio e manganês um comportamento idêntico ao caso anterior.
- — ao fazer-se o doseamento de magnésio em presença de negro de eriocromo, verificou-se que o ferro, alumínio e manganês interferem quando presentes, em quantidades superiores ou iguais a 0,5 mg.

Ao estudar-se os diferentes métodos de eliminação de interferentes para teores iguais de cálcio, magnésio, ferro, alumínio e manganês conclui-se que:

- — após a eliminação de interferentes por complexação, no doseamento do cálcio interferem os cinco iões em conjunto tanto com murexida como com calcon como indicador, e, na determinação de magnésio com negro de eriocromo verifica-se sempre interferência.
- — após eliminação de interferentes por precipitação, ao dosear-se o cálcio com murexida

QUADRO I

Teor adicionado (cm^3) de soluções* 1 mg/cm^3					Teor encontrado (mg)											
					Cálcio								Magnésio			
					Indicador — murexida				Indicador — calcon				Indicador — erio T			
Ca	Mg	Fe	Al	Mn	Sem elim. int.	Comple-xação	Precipi-tação	Extrac.	Sem elim. int.	Comple-xação	Precipi-tação	Extrac.	Sem elim. int.	Comple-xação	Precipi-tação	Extrac.
1	1	—	—	—	1,000	0,959	0,993	1,000	1,020	1,000	1,033	1,000	0,966	1,003	0,958	0,953
					1,000	0,979	0,973	1,000	1,020	1,000	1,033	1,020	0,966	0,990	0,956	0,978
					—	—	—	—	—	—	—	—	(0,953)	(0,978)	(0,933)	(0,953)
					—	—	—	—	—	—	—	—	(0,953)	(0,978)	(0,921)	(0,966)
1	1	0,2	—	—	1,000	—	—	—	i	—	—	—	0,978	—	—	—
					1,020	—	—	—		—	—	—	0,978	—	—	—
1	1	0,5	—	—	1,020	—	—	—	—	—	—	—	i	—	—	—
					1,020	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1	1	1			i	1,000	1,020	0,973	—	0,979	0,979	0,993	—	i	0,929	0,947
						0,979	1,000	1,033	—	1,000	0,938	0,993	—		0,929	0,910
					—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	(0,966)	(0,934)
					—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	(0,966)	(0,934)
1	1	—	0,2	—	1,013	—	—	—	1,033	—	—	—	0,959	—	—	—
					0,993	—	—	—	1,033	—	—	—	0,959	—	—	—
					—	—	—	—	—	—	—	—	(0,934)	—	—	—
					—	—	—	—	—	—	—	—	(0,934)	—	—	—
1	1	—	0,5		0,993	—	—	—	1,013	—	—	—	i	—	—	—
					1,013	—	—	—	1,013	—	—	—		—	—	—
1	1	—	1		1,020	0,979	1,033	0,993	1,020	1,061	1,155	1,013	i	—	0,953	0,959
					1,000	0,979		0,973	1,020	1,040	1,094	1,013	—	—	0,966	0,959
					—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	(0,921)	(0,947)
					—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	(0,896)	(0,947)
1	1	—	—	0,2	1,020	—	—	—	1,000	—	—	—	0,978	—	—	—
													(0,990)	—	—	—
1	1	—	—	0,5	i	—	—	—	i	—	—	—	i	—	—	—
1	1	—	—	1	i	1,000	1,054	0,993	i	1,040	1,175	1,033	—	i	1,352	0,954
						1,020	0,973	0,973		1,061	1,175	1,013	—		1,402	0,971
													—	—	(1,279)	(0,934)
													—	—	(1,279)	(0,947)
1	1	1	1	1	—	i	—	1,000	—	i	—	0,979	—	i	—	0,966
					—		—	0,979	—		—	0,979	—		—	0,978
																(0,978)
																(0,978)

i — determinação prejudicada por nítida interferência.

* — soluções tituladas : Solução de cálcio, 1000 mg/cm^3; Solução de magnésio 0,966 mg/cm^3.

QUADRO II

					Desvio (%)											
					Cálcio								Magnésio			
					Indicador — murexida				Indicador — calcon				Indicador — erio T			
Ca	Mg	Fe	Al	Mn	Sem elim. int.	Comple-xação	Precipi-tação	Extrac.	Sem elim. int.	Comple-xação	Precipi-tação	Extrac.	Sem elim. int.	Comple-xação	Precipi-tação	Extrac.
1	1	—	—	—	0	−4	−1	0	+2	0	+3	0	0	+4	−1	−1
					0	−2	−3	0	+2	0	+3	+2	0	+2	−1	+1
					—	—	—	—	—	—	—	—	(−1)	(+1)	(−3)	(−1)
					—	—	—	—	—	—	—	—	(−1)	(+1)	(−4)	(0)
1	1	0,2	—	—	0	—	—	—	i	—	—	—	+1	—	—	—
					+2	—	—	—		—	—	—	+1	—	—	—
1	1	0,5	—	—	+2	—	—	—	—	—	—	—	i	—	—	—
					+2	—	—	—	—	—	—	—		—	—	—
1	1	1	—	—	—	0	+2	−3	—	−2	−2	−1	—	i	+4	−2
					—	−2	0	+3	—	0	−6	−1	—		+4	−5
					—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	(0)	(−3)
					—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	(0)	(−3)
1	1	—	0,2	—	+1	—	—	—	+3	—	—	—	−1	—	—	—
					−1	—	—	—	+3	—	—	—	1	—	—	—
					—	—	—	—		—	—	—	(−3)	—	—	—
					—	—	—	—	—	—	—	—	(−3)	—	—	—
1	1	—	0,5	—	−1	—	—	—	+1	—	—	—	i	—	—	—
					+1	—	—	—	+1	—	—	—		—	—	—
1	1	—	1	—	+2	−2	+3	−1	+2	+6	+16	+1	—	i	−1	−1
					0	−2	—	−3	+2	+4	+9	+1	—		0	−1
					—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	(−4)	(−1)
					—	—	—	—		—	—	—	—	—	(−7)	(−1)
1	1	—	—	0,2	+2	—	—	—	0	—	—	—	+1	—	—	—
					—	—	—	—	—	—	—	—	(+2)	—	—	—
1	1	—	—	0,5	(i)	—	—	—	i	—	—	—	i	—		—
1	1	—	—	1	(i)	0	+5	−1	i	+4	+17	+3	—	i	+39	−1
						+2	−3	−3		+6	+17	+1	—		+41	0
					—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	(+31)	(−3)
					—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	(+31)	(−2)
1	1	1	1	1	—	i	—	0	—	i	—	−2	—	i	—	0
					—		—	−2	—		—	−2	—		—	(+1)
					—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	(+1)
					—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	(+1)

QUADRO III

Amostra	Teor em cálcio (% OCa)			Teor em magnésio (% OMg)		
	complexação	separação por (*) precipitação	separação por extracção	complexação	separação por (*) precipitação	separação por extracção
1	16,1	15,7	16,0	9,5	(3,2)	9,8
	15,4	15,7	15,9		(3,6)	9,9
2	24,3	23,6	24,6	16,6	(12,8)	16,3
	23,8	23,3	24,4		(12,5)	16,3
3	31,8	28,9	31,8	15,7	(6,0)	15,6
	31,6	28,4	31,5	15,2	(5,7)	15,2
4	28,4	27,2	28,5		(8,3)	13,6
	29,2	27,5	29,3	13,7	(8,4)	14,3
5	28,9	27,0	28,2	19,1	20,0	19,8
	28,8	27,6	28,4	19,7	(11,2) (11,0)	19,9
6	28,6	27,2	27,8	19,0	19,9	19,9
	28,4	26,1	28,4	19,2	(13,9) (13,3)	19,6

(*) estes ensaios foram realizados no Laboratório de Química Inorgânica.

os desvios oscilam entre —3 e + 5 % ecom calcon atingiram os 16 %. No doseamento de magnésio os valores em presença de ferro deram desvios da ordem dos 4 % atingindo em presença de manganês 30 a 40 %.

— após extracção, os desvios no doseamento do cálcio e magnésio pelos diversos métodos deram inferiores, a 3 %.

Conclui-se, assim, que os resultados mais precisos em qualquer dos processos de determinação se obtêm após extracção de elementos interferentes.

Nas amostras de dolomites obteve-se um menor desvio nos resultados obtidos, tanto para o cálcio como para o magnésio quando a separação de interferentes se fez por extracção — A maior dispersão de valores encontra-se nas determinações após separação de interferentes por precipitação. — Quando esta não foi feita em presença de cloreto de amónio os resultados encontrados para o magnésio foram demasiado baixos atribuindo-se o arrastamento de hidróxido de magnésio na precipitação. De uma maneira geral os valores obtidos para o cálcio foram também baixos. — Quando as precipitações que se destinavam ao doseamento de magnésio, foram feitas em presença de cloreto de amónio, os resultados foram já concordantes.

No caso das dolomites utilizadas, verificou-se, ainda, ser baixo na maior parte delas o teor de elementos interferentes, uma vez que após a sua eliminação por complexação, os resultados foram em geral concordantes com os da extracção.

BIBLIOGRAFIA

1 Welcher, F. J. «The analytical Uses of Ethylenediamine tetraacetic acid», 2.ª ed., Van Nostrand, New York, 1958

2 Cheng, K. L., Kurtz, T. e Bray, R. H., Analytical Chemistry, 24, 1960-41 (1952); C. A. 47,68 (1953)

3. Cheng, K. L., Melsted., S. W., e Bray. R. H., Soil Sci. 75, 37-40 (1953)

4. Jordan, J.W. e Robinson, K.L., Chemistry & Industry 1953-687; C. A., 47, 10401 (1953)

5. Pribil, R., Chem. Listi 48, 382-5 (1954); C. A. 48, 7483 (1954)

6. Pribil, R., Collection Czechoslov. Chem. Communs. 19, 465-9 (1954); C. A. 49, 5197 (1955).

C. D. U. 621.311.5/91

ELEMENTOS SOBRE A PRODUÇÃO E O CONSUMO DE ENERGIA NA REDE ELÉCTRICA NACIONAL (*)

FEVEREIRO

I — Breve nota mensal

No conjunto do sistema, as afluências totalizaram cerca de 1008 GWh, correspondendo-lhes uma probabilidade de serem excedidas de apenas 28 % e um coeficiente de produtibilidade de 1,21.

As afluências acumuladas desde o início do ano hidrológico representam cerca de 69 % do respectivo valor médio. Trata-se, ainda, de um regime desfavorável, com uma probabilidade de ser excedido da ordem dos 80 %.

Por efeito do regime favorável de afluências durante o mês de Fevereiro, o armazenamento no conjunto das albufeiras subiu 504 GWh, situando-se no fim do mês em cerca de 1068 GWh, valor correspondente a cerca de 50 % do enchimento máximo possível.

II — Elementos gerais (GWh)

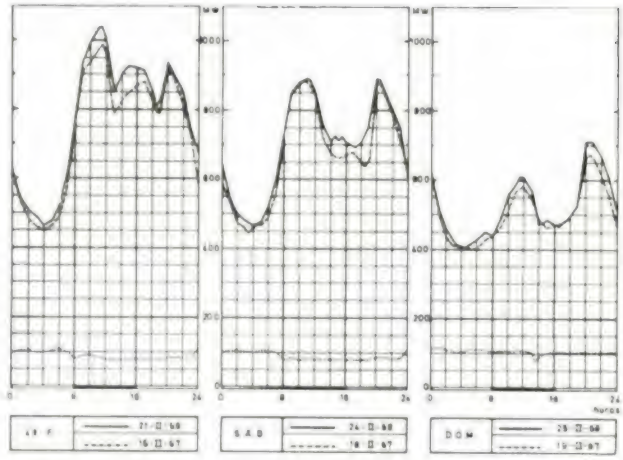
	a) Mensais 1967	a) Mensais 1968	Variação %
Produção hidráulica (P_h) . . .	460,5	426,8	— 7
Produção térmica (P_t)	19,2	59,7	+ 211
Produção total (P_T)	479,7	486,5	— 1
Energia recebida de empresas não pertencentes ao RNC (E_r)	2,8	4,3	— 54
Exportações (Ex)	0,0	1,6	—
Importações (I)	0,0	13,4	—
Saldo importador (S_I)	0,0	+ 11,8	—
Consumo em bombagem (C_b)	11,7	1,7	— 85
Produção para consumos perman. (P_{cp})	396,1	460,4	(1) + 76,2
Produção para consumos não perman. (P_{cnp}) . . .	74,7	40,5	— 46
Total	482,5	502,6	— 4
Coeficiente de hidraulicidade	0,97	1,21	—

NOTA

(1) O aumento percentual da produção para consumos permanentes, tendo em conta a incidência dos domingos e dias especiais, é respectivamente de 13,7 e 10,1 %.

III — Diagramas de carga dos dias característicos

			4.ª feira: 1967	4.ª feira: 1968
Produção hidráulica		(P_h) MWh	17 108	17 941
Produção térmica		(P_t) MWh	1 140	1 013
Produção total		(P_T) MWh	18 248	18 954
Trocas com Espanha	Export.	(Ex) MWh	0	0
	Import.	(I) MWh	0	0
Consum em bomb. hidroel.		(C_b) MWh	0	0
Prod. para cons. perm.		(P_{cp}) MWh	15 694	16 863
Prod. para cons. não perm.		(P_{cnp}) MWh	2 554	2 091
TOTAL		$P_T + (I-Ex)$ MWh	18 248	18 954
Características dos diagramas	$P_T + (I-Ex)$	Potência max. MW	989	1 044
		Potência mín. MW	452	466
		Utiliz. da ponta horas	18,4	18,2
		Factor de carga	0,77	0,76
	P_{cp}	Potência máx. MW	888	966
		Potência mín. MW	350	369
		Utiliz. da ponta horas	17,7	17,5
		Factor de carga	0,74	0,73



IV — Energia armazenada nas principais albufeiras

Albufeiras:	No fim do mês GWh	No fim do mês % (1)
Alto Rabagão	289,0	29,7
Paradela	40,9	18,4
Venda Nova	72,9	57,0
Salamonde	9,2	33,3
Caniçada	11,9	34,0
Vilar	7,0	7,0
Cabril	61,1	18,0
Castelo do Bode	58,4	35,8
Guilhofrei	0,7	8,4
Lagoa Comprida	0,6 (2)	1,4
Santa Luzia	6,9	11,2
Pracana	4,7	36,4
Póvoa	0,8 (3)	4,8
Total { com A. Rabagão . . .	564,1	26,6
Total { sem A. Rabagão . . .	275,1	23,9

NOTAS

(1) Coeficiente de enchimento em energia das albufeiras.

(2) Inclui 0,1 GWh armazenados em Vale do Rossim no início do mês e 3,4 GWh no fim do mês.

(3) Inclui 0,3 GWh armazenados no açude do Polo no início do mês e 1,1 GWh no fim do mês.

(*) *Elementos extraídos das estatísticas mensais do Repartidor Nacional de Cargas (R. N. C.). As produções e os consumos das empresas do R. N. C. representam cerca de 94 % dos totais do País.*

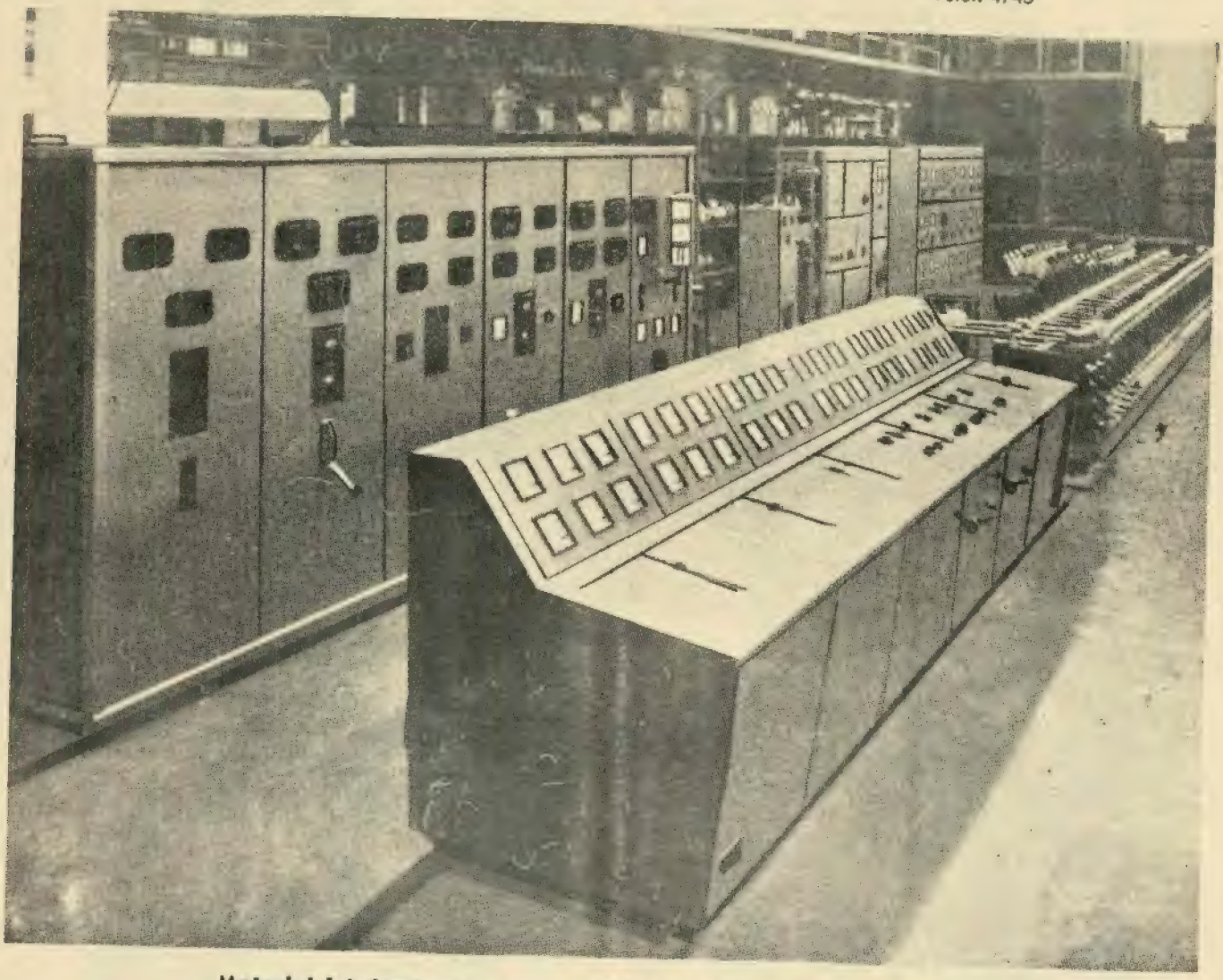
JAYME DA COSTA, L^DA

MECÂNICA E ELECTRICIDADE EM TODAS AS APLICAÇÕES

PORTO
Praça da Batalha, 12
Telef. 2 28 12 (PPC)

LISBOA
Rua dos Correeiros, 14
Telef. 32 70 35 (PPC)

LUANDA
Cx. Postal 5174
Telef. 4743



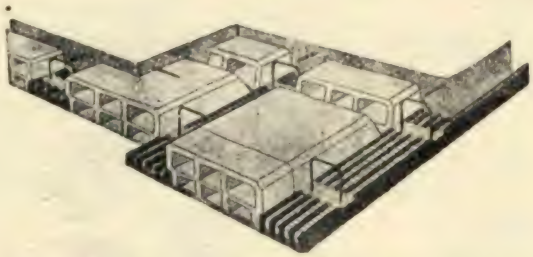
Material fabricado nas nossas oficinas, pronto para expedição

- Fabricação de aparelhagem eléctrica de alta e baixa tensão
- Equipamentos electromecânicos completos para centrais e fábricas
- Postos de transformação tipo monobloco
- Quadros blindados, capsulados e em armário
- Armaduras de iluminação de todos os tipos
- Contadores eléctricos e instrumentos de medida
- Telemedida e telecomando
- Instalações elevatórias de água
- Instalações de saneamento e esgotos
- Ferramentas de corte
- Motores Diesel industriais e marítimos
- Fogões eléctricos
- Frigoríficos
- Ventilação e condicionamento de ar
- Aparelhagem de Raios X e electromedicina

PRÉ - ESFORÇADOS CERÂMICOS

PATIAL

patente stahlton



PAVIMENTOS, TECTOS, FORROS, COBERTURAS, ASNAS, SILOS

CERVAL

CERÂMICA VALE DE LOBOS, L.DA

R. JOAQUIM A. AGUIAR, 41, 5.º-D. - LISBOA - TEL. 53 11 38/9/0

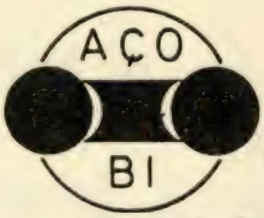
Companhia Portuguesa de Trefilaria

S. A. R. L.

ARMADURAS PRÉ-FABRICADAS **MALHASOL**

Tensão de segurança 3.000 Kgf / cm²

AÇO BI



Tensão de segurança 4.000 Kgf / cm²

AÇOS DE ALTA RESISTÊNCIA PARA BETÃO ARMADO

que pela eficiência técnica e económica a que conduzem, são um indispensável elemento na moderna construção civil

Para qualquer obra em betão armado consulte:

DIAL — GABINETE TÉCNICO

R. DO INSTITUTO INDUSTRIAL, 18-1.º DT.º

TELEFONES 67 12 24/5 e 67 37 85 - LISBOA

Actualize também a sua sala de banho .. Use TRITON a marca que equipa os hotéis RITZ, TIVOLI e CIDADELA, etc.

GUEDAL

Av. República, 64-A — Telef. 77 94 30

C.D.U. 627.824.3 (042)

ANOTAÇÕES SOBRE BARRAGENS DE TERRA

por JOSÉ FOLQUE
Engenheiro Investigador, Chefe da Divisão de Fundações do Laboratório Nacional de Engenharia Civil

(Conclusão)

4 — RECONHECIMENTO DE MANCHAS DE EMPRÉSTIMO. ENSAIOS DE CLASSIFICAÇÃO. DETERMINAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS: COMPACTAÇÃO, CORTE, PERMEABILIDADE, COMPRESSIBILIDADE. CONSOLIDAÇÃO DE SOLOS COMPACTADOS

O reconhecimento de manchas de empréstimo, dadas as condições de jazida que já foram mencionadas como sendo frequentes em Portugal, levanta em muitos casos dificuldades derivadas da circunstância de dependerem as características dos solos obteníveis dos métodos de escavação. Ao que há a adicionar o facto de dependerem também as características granulométricas do material colocado em obra, muito acentuadamente, do tipo de equipamentos usados no transporte, espalhamento e compactação.

Ao prospectar uma mancha de empréstimo pretende-se em princípio ajuizar das características das terras disponíveis do ponto de vista da sua adaptabilidade a obras de terras compactadas. Os ensaios de classificação são de certo modo ensaios de pré-julgamento sobre estas características. Daqui deriva que a prospecção, e a realização dos ensaios de classificação, deverá incidir sobre materiais que apresentem um grau de fragmentação equivalente aos dos materiais que vão ser postos em obra.

Ora acontece que durante as operações de reconhecimento preliminar de manchas de empréstimo não se pode dispor de equipamentos de escavação comparáveis aos que vão depois ser utilizados em estaleiro de obra. Nem sequer se pode pensar em construir um aterro experimental, pois o reconhecimento preliminar opera-se quando acerca do local ainda as decisões não estão suficientemente amadurecidas para justificar a instalação de um pequeno estaleiro, mesmo rudimentar.

Há por isso que fazer a prospecção e realizar os primeiros ensaios de classificação sobre amostras colhidas em poços com ferramentas rudimentares, à pá e picareta. Certos materiais relativamente pouco alterados podem parecer inadequados para a construção de um aterro compactado e contudo a experiência posterior, quando se utilizam equipamentos possantes de remoção, transporte e compactação, mostrar que eles podem ser utilizados. Em certas zonas de xistos pouco alterados já houve oportunidade de viver esta experiência.

Parece por isso que haverá interesse em estudar um processo de fragmentação de amostras, em laboratório, que reproduza os efeitos de fragmentação que os equipamentos de obra são capazes de produzir. É um problema em aberto, necessitando como é óbvio de muito trabalho de laboratório e de campo para poder ser levado a termo. Entretanto, não temos tido outra alternativa que não seja efectuar os primeiros ensaios de classificação, sobre a parte fina (passada no peneiro n.º 4) de amostras extraídas à pá e picareta. É portanto sobre estes resultados que se baseiam os primeiros zonamentos das manchas de empréstimo e com estas amostras que se conduzem os primeiros ensaios de determinação laboratorial de características. Está porém bem presente no espírito dos que nestes trabalhos andam envolvidos que estes resultados podem ser muito precários e por isso, logo que as circunstâncias o permitem e justificam, passa-se, em locais onde as jazidas têm estas características, para estudos baseados em amostras que se obtêm dos empréstimos por meio de equipamentos de estaleiro.

Uma outra peculiaridade de jazidas de solos residuais que em certos casos tem posto dificuldades deriva da acentuada irregularidade da espessura da auréola de alteração. Na barragem do Crato, no Alto Alentejo, a quadrícula de

poços de reconhecimento preliminar evidenciou espessuras que variavam entre alguns decímetros e alguns metros. De resto esta irregularidade de espessura de alteração ainda mais se patenteava por existirem nas manchas de empréstimo penhascos rochosos, desnudados, constituídos por rocha pràticamente sã. A questão que se punha era portanto a do levantamento do substracto não alterado com suficiente precisão para julgar da viabilidade da mancha de empréstimo, pois podia a espessura média de solo alterado ser pouco relevante, ou a disposição do substracto inviabilizar o trabalho de máquinas. Era, como é evidente, tarefa que à custa de poços isolados resultaria extremamente onerosa e porventura de resultados muito aleatórios. Recorreu-se neste caso a um levantamento usando o método de resistividade, aproveitando a circunstância de ser apreciável o contraste em resistividade eléctrica entre o substracto rochoso e a formação residual. Permitiu este método levantar a topografia do substracto com curvas de nível bastante próximas. Alguns poços abertos posteriormente mostraram boa concordância das cotas de ocorrência do substracto com as cotas previstas. Mas a exploração da mancha para obra ainda não se iniciou e portanto a prova final do trabalho ainda não está realizada.

Com as amostras colhidas em poços no reconhecimento preliminar e depois, em fase de melhor determinação de características mecânicas, sobre amostras colhidas com equipamentos de estaleiro, conduzem-se os ensaios habituais de laboratório. Haverá interesse, pois que estes ensaios na maior parte dos seus pormenores são de rotina, em apontar só as circunstâncias peculiares que o tipo especial de solos leva a ter de considerar.

— *Características de compactação* — Tem-se considerado como adequada, e a experiência de obras tem trazido confirmação a esta hipótese, a energia correspondente ao Proctor normal para reproduzir em laboratório o efeito compactivo dos cilindros mais usados em Portugal — cilindros de pés de carneiro de 4 t. Para as obras em que se têm usado cilindros vibradores de 8 t têm-se conduzido ensaios de compactação com a energia correspondente ao Proctor pesado. O aspecto difícil destes ensaios reside na escolha da dimensão que poderá ser considerada como limite acima do qual os grandes elementos actuarão como *inertes*, sem pràticamente influirem no comportamento da matriz em que ficam envolvidos.

Há necessidade de fixar uma dimensão limite dos grandes elementos para que, como é sabido, não se seja forçado a usar moldes de compactação de grandes dimensões (compatíveis com as dimensões desses elementos) e as consequentes muito altas energias totais de compactação.

Como especificação-tentativa, cuja verificação sistemática está nos programas do Laboratório Nacional de Engenharia Civil vir a efectuar, tem-se adoptado o critério de retirar os elementos com dimensões superiores a 20 % do material retido na curva granulométrica. Mesmo assim é-se forçado a usar, em certos casos, moldes de grandes dimensões. De um modo geral tem-se conseguido realizar a maior parte dos estudos de compactação usando moldes de 8″ de diâmetro.

— *Características de corte* — Determinam-se em regra por meio de ensaios de compressão triaxial. Na escolha da dimensão do provete põem-se problemas afins dos que foram mencionados a propósito dos ensaios de compactação. Há com efeito que retirar os grandes elementos, para que os provetes sejam possíveis de moldar. Por outro lado não se pode descer, nessa exclusão de elementos, até uma dimensão cuja omissão introduza alterações significativas no comportamento da matriz terrosa que constitui a parte mais significativa do «esqueleto» do material compactado. Para os solos residuais menos alterados ensaiam-se provetes de 8″ de diâmetro, em câmaras triaxiais metálicas preparadas para poderem trabalhar com pressões de confinamento até 10 kg/cm^2.

As amostras são prèviamente saturadas por percolação de água da base para o topo, sob gradiantes hidráulicos bastante altos, que chegam às vezes a atingir a ordem de 20. Eventualmente tem-se usado contra-pressões («back-pressures») para aumentar o grau de saturação. Como é sabido a aplicação de pressões na água intersticial («back-pressures») em sistema fechado facilita a saturação dos provetes por forçar a dissolução do ar ocluso. Como é óbvio, de um ponto de vista estrictamente prático, só terá sentido aplicar pressões intersticiais de uma ordem de

grandeza que se aproxime daquela que se antevê na zona da barragem em estudo. Com efeito, forçar a saturação até 100 % será evidentemente ensaiar do lado da segurança, mas poderá conduzir a uma situação pejorativa em excesso. De qualquer forma, enquanto esta problemática não estiver mais dominada, todos estaremos de acordo em que manda a prudência que se ensaie sobre provetes saturados a 100 %.

As tensões neutras desenvolvidas nos provetes durante os ensaios de compressão triaxial são medidas por células de resistência eléctrica (tipo Statham, com resistências nuas, ou tipo Shinkoh de extensómetros de baquelite) ou ainda por células de corda vibrante. Qualquer destas células opera com débitos muito pequenos. Além disso, as células eléctricas têm um tempo de resposta extremamente baixo, da ordem do milisegundo, o que as torna adequadas para trabalhar acopladas a registadores em ensaios com regimes de tensões muito ràpidamente variáveis.

— *Características de permeabilidade* — A permeabilidade de provetes de solos residuais compactados é medida em conexão com ensaios de consolidação, conduzidos em moldes de 8", ou em provetes montados no aparelho de compressão triaxial, logo após a fase de saturação. Este último tipo de montagem tem a vantagem de permitir conduzir os ensaios com contra-pressões, sobre provetes de maior grau de saturação, portanto. É evidente a vantagem de conduzir o ensaio nesta modalidade, dentro da perspectiva prudente de ensaiar provetes completamente saturados enquanto não se conhece melhor qual o grau de saturação que os solos no corpo da barragem podem atingir a longo prazo. A permeabilidade em meios saturados é òbviamente mais baixa do que em meios não saturados. Com efeito, nestes meios a água deslocar-se-á ou por um processo de evaporação-condensação ou, mais presumìvelmente, por migração das películas de água absorvidas que exibem viscosidade muito alta. A migração será portanto dificultada, em comparação com a percolação que se pode instalar quanto há replecção dos poros.

— *Características de compressibilidade* — São determinadas ou por ensaios de consolidação, do tipo ensaio edométrico, conduzidos em moldes de 8", ou em aparelho de compressão triaxial, após saturação. Na primeira montagem a carga é aplicada por meio de macacos e mantida por meio de molas. Na segunda montagem a consolidação faz-se por aplicação de escalões de tensão hidrostática, com drenagem dos provetes pelo topo e pela base. Na montagem em aparelho de compressão triaxial determina-se, como é evidente, a compressibilidade volumétrica do provete, sem aplicação de forças distorcionais.

Os dois ensaios não são pois rigorosamente equivalentes.

Mesmo para amostras com grau de saturação muito elevado, presumìvelmente com o grau de saturação que atingirão em obra a longo prazo e que não excede em regra 95 %, tem-se constatado, na análise e interpretação dos ensaios de consolidação, que a velocidade de deformação pouco depende das dimensões do provete. É mesmo de acrescentar que o mesmo se verificou em alguns ensaios conduzidos em provetes em que houve a preocupação de forçar a saturação até valores pràticamente coincidentes com 100 %. Como é sabido este tipo de comportamento não coincide com o esquema clássico da consolidação, derivado da teoria de consolidação de Terzaghi. E de facto, se considerarmos um terreno saturado e se admitirmos que o seu comportamento em consolidação obedece a um esquema simplificado em que a velocidade de deformação é condicionada pela permeabilidade do meio, seremos forçados a admitir que a velocidade do processo depende da dimensão do corpo de prova. Atentemos porém a que, no esquema de consolidação de Terzaghi, admite-se que a consolidação hidrodinâmica é de facto condicionada pela velocidade de dissipação de tensões neutras, tensões neutras que se dissipam à medida que a água pode sofrer drenagem pela fronteira do provete; mas admite-se também que, após cessação da consolidação hidrodinâmica, continuam a dar-se fenómenos de consolidação — consolidação secundária — condicionados na velocidade do seu progresso ùnicamente pelas características reológicas do «esqueleto». Ora acontece, como é fácil de aceitar, que este fenómeno de consolidação secundária não é consecutivo ao de consolidação hidrodinâmica, mas ambos ocorrerão, como é obvio, simultâneamente. Simplesmente, num solo com «esqueleto» muito deformável e com deformações intrínsecas do «esqueleto» de viscosidade baixa, as tensões neutras induzidas na água são

altas porque o módulo de compressibilidade da água é alto em comparação com o módulo de deformabilidade do «esqueleto» e a velocidade do processo de consolidação é condicionado pela drenagem da água livre porque a viscosidade do «esqueleto» é baixa em comparação com a viscosidade da água. Vejamos porém o que é de presumir que aconteça, mesmo num solo saturado, quando o «esqueleto» tiver uma deformabilidade muito pequena, da mesma ordem ou mesmo menor do que a compressibilidade da água: as tensões neutras induzidas por um acréscimo de tensão total assumem valores bastante baixos pois uma grande parcela dessa tensão será imediatamente entregue ao «esqueleto». Se, por outro lado, o «esqueleto» tiver características de fluência que conduzam a uma velocidade da sua deformação inferior à velocidade com que se pode dar drenagem do provete, virá também que será a fluência do «esqueleto» que condicionará a velocidade do processo, independentemente da velocidade com que se dará a drenagem da água pelas fronteiras do corpo de prova. E será então a velocidade de drenagem da água que será condicionada pela fluência do «esqueleto», podendo processar-se mais lentamente do que seria de esperar atendendo ao valor da viscosidade da água livre que preenche os poros. É-se portanto levado a aceitar, perante as considerações expostas, que o facto de se observarem nos ensaios de consolidação velocidade do processo que pràticamente independem da dimensão dos provetes, significa que os solos em causa têm um «esqueleto» pouco deformável e com características de fluência que correspondem a componentes viscosas de viscosidade muito alta.

É ainda de apontar que os estudos reológicos até à data conduzidos sobre estes solos mostram que a viscosidade do «esqueleto», partindo de valores já de si elevados nos estádios iniciais, cresce muito acentuadamente quando crescem as deformações volumétricas. Quer dizer, o fenómeno de consolidação processa-se com viscosidades que são fortemente crescentes no tempo. A fig. 4.1 mostra, na parte inferior, curvas de evolução de ε_v, isto é, da extensão volumétrica, com o tempo, em ensaios triaxiais com tensão hidrostática mantida. A interpretação dos resultados obtidos, em termos do modelo reológico já apresentado, impõe a conclusão que a viscosidade cresce muito ràpidamente com ε_v. Os ensaios realizados indicam que a viscosidade η deve variar exponencialmente com ε_v.

É de interesse apontar que a «resistência», no sentido lato do termo que traduz não só a tensão de rotura mas também a deformabilidade, cresce com a consolidação de forma que denota uma dependência muito acentuada de ε_v. Uma pequena variação de ε_v induz acréscimos tão importantes de «resistência», sobretudo em fases adiantadas do processo, que é legítimo pôr-se a questão de saber se esse «endurecimento» será causado exclusivamente por consolidação, isto é por variação do índice de vazios.

De facto o índice de vazios, e consequentemente a distância média entre partículas do solo, aceita-se que condicione muito estreitamente a resistência. Mas parece também de aceitar que, nos processos a longo prazo, se operem transformações de estruturas, re-arranjos na orientação das partículas, que «endureçam» o «esqueleto» sólido, efeito que seria conspícuo mesmo que se processasse a volume de vazios constantes. Poderá haver domínio desta problemática de forma a poder contar com a resistência dos solos compactados ao fim de um ou dois anos, idade em que, para muitas obras, se instalam os esforços tangenciais mais elevados? É assunto que neste momento se deve considerar em aberto, mas cuja exploração apresenta interesse. Como já houve ocasião de dizer, este é o tema de um dos trabalhos de pesquiza neste momento em curso em Portugal.

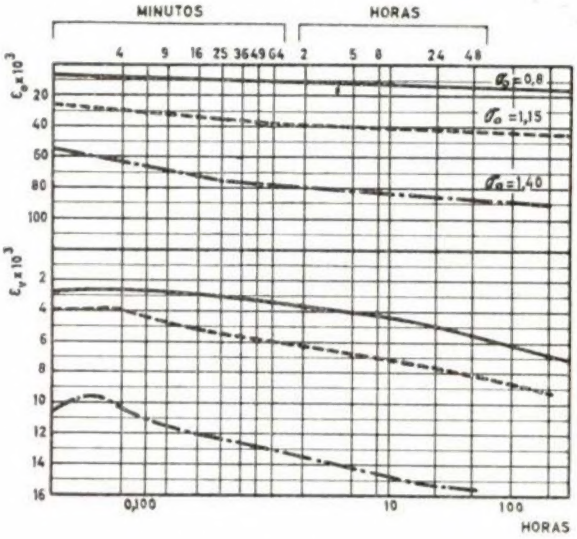


Fig. 4.1

5 — O USO DE ATERROS EXPERIMENTAIS PARA ESTUDO «IN SITU» DE CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS

Como ficou dito, o uso de terras provenientes de jazidas de solos residuais levanta problemas difíceis no que se refere quer aos ensaios de classificação — para julgamento da viabilidade das manchas e consequente zonamento — quer aos ensaios de compactação — para estabelecimento do padrão de compactação a exigir — quer ainda, em geral, aos ensaios de determinação de características mecânicas. Por isso, como se disse, recorre-se nestes casos, logo que os estudos da obra estão suficientemente amadurecidos, à construção de um aterro experimental para possuir elementos de julgamento dos solos a empregar em condições que se assemelhem o mais possível às condições de estaleiro.

A barragem do Mira, actualmente em fase de acabamento, teve estudos em aterros experimentais que constituem bons exemplos do que se mencionou [1]. Esta barragem, a maior das barragens de terra até hoje construídas em Portugal, tem 86 m de altura máxima, com cerca de 500 m de desenvolvimento no coroamento. O volume de aterros é da ordem dos 4 milhões de metros cúbicos. A fig. 5.1 representa o perfil da obra na zona de máxima altura.

As terras disponíveis para construção da barragem eram constituídas por extensas formações de solos residuais xistosos, cuja alteração não era muito acentuada nem alcançava profundidades superiores a 1 ou 2 m. Estas circunstâncias levantam problemas com interesse e que saíam da rotina dos estudos de barragem de terra por não ser grande a experiência de construção de aterros compactados com solos residuais de alteração pouco pronunciada.

Na fase de estudos preliminares reconheceu-se bastante cedo que a determinação de características mecânicas dos solos compactados, atendendo à dependência da sua granulometria e estrutura dos equipamentos de obra, só poderia ser efectuada adequadamente, em rigor, depois da adjudicação da obra, para ser possível usar os equipamentos de que o construtor dispuzesse para construção de aterros experimentais. A partir desses aterros experimentais, por determinações «in situ» e/ou por ensaio de amostras indeformadas neles colhidas, se faria a determinação de características mecânicas.

Porque não era possível seguir esta via na fase de estudo e projecto optou-se pela construção de um aterro experimental em que se utilizaram os equipamentos que se consideraram de mais provável utilização em fase de obra. É assim de sublinhar que neste empreendimento, mesmo em fase de estudos, se sentiu a necessidade e houve que construir um aterro experimental. Para este primeiro aterro experimental efectuaram-se escavações e espalhamento com «motor-scraper», mistura e humidificação acompanhada de revolvimento com grades de discos

Fig. 5.1

(1) Folque, J. e Maranha das Neves. «Compactação em xistos alterados usando cilindros vibradores», 2.as Jornadas Luso-Brasileiras de Eng.ª Civil, 1967.

e compactação com cilindros de pés de carneiro. Foi o estudo deste aterro experimental que forneceu as características tomadas no projecto.

Resumidamente aponta-se que as compactações relativas obtidas foram da ordem dos 98 % do Proctor normal. Os coeficientes de permeabilidade medidos «in situ» e sobre amostras foram de 10^{-6} a 10^{-7} cms. As características de corte exibiram os seguintes parâmetros em termos de tensões efectivas

$$\varphi' = 28^{\circ}$$
$$c' = 0$$

A construção da obra viria depois mostrar que a adopção de equipamentos muito diferentes dos previstos levou a aterros com características diferindo sensìvelmente das mencionadas, embora este facto se tivesse traduzido em adaptações no projecto que não foram de grande monta.

Diga-se de passagem que a construção desta obra forneceu dados que se reputam de interesse por se referirem à adopção de equipamentos por enquanto ainda não muito usados neste tipo de obra — cilindros vibradores — que permitiram elevados rendimentos de colocação de terras, com características mecânicas bastante favoráveis.

Adjudicada a obra propôs a empresa construtora efectuar a compactação usando cilindros vibradores de rasto liso, pesando 8 t, com diâmetro de 1,6 m e 2,0 m de largura de rasto. A frequência da solicitação vibratória destes cilindros é variável e ajustável entre 1500 e 1800 c. p. m.

Propunha-se a empresa dispor as terras em camadas de cerca de 1 m de espessura. A exploração das manchas seria feita, num dos locais de empréstimo com escavadora, sendo depois as terras transportadas em camião, e noutros locais com «motor-scraper».

Ponderou-se que a compacidade atingida seria condicionada não só pela energia de compactação mas também, e muito fortemente, pela capacidade de o equipamento de escavação e compactação contribuir para a fractura dos elementos mais alterados do solo, conferindo-lhes uma granulometria mais rica em finos, mais uniforme e com maior percentagem de elementos capazes de fornecer ao solo compactado características coesivas. Nesta conformidade programou-se a construção de um aterro experimental em que se estudaram as seguintes características:

- evolução da granulometria do solo com o número de passagens do cilindro
- influência do número de passagens do cilindro na compactação relativa conseguida
- degradação em profundidade das compacidades obtidas.

Programou-se também inicialmente estudar a influência da frequência das solicitações vibratórias transmitidas pelo cilindro. Desistiu-se porém, não só por parecer que era pequena a gama de variações de frequência que podia ser coberta, mas sobretudo para não tornar mais sobrecarregado um programa de estudos que estava a condicionar o desenvolvimento dos trabalhos. Reconhece-se porém que este parâmetro deve desempenhar papel muito importante na eficiência da compactação conseguida, em relação a cada tipo de solo. Já há anos que nos países do Leste da Europa se usam cilindros compactadores em que se sobrepõem três ou quatro vibrações, geradas por outros tantos excêntricos, cada um dos quais operando numa frequência. Cada uma dessas frequências tem um efeito compactador, por assim dizer «selectivo», sobre uma faixa granulométrica do solo a compactar.

Na construção deste primeiro aterro executado em fase de obra — aterro B — as terras foram depostas numa só camada de 80 cm de espessura que recebeu rega já no aterro. Estudou-se a eficiência de compactação para 4,8 e 12 passagens do cilindro. Para cada um destes níveis de compactação foram abertos poços no aterro e efectuadas determinações do peso específico aparente das terras compactadas, teor de humidade e granulometria. Estas determinações foram feitas a três profundidades: à superfície, a 0,4 m e a 0,6 m de profundidade.

A fig. 5.2 resume os resultados obtidos no que respeita a pesos específicos aparentes. As curvas granulométricas evidenciaram por seu lado que o material deposto em profundidade tinha sofrido muito pequena trituração. Permanecia com efeito, após compactação, muito mais grosseiro do que o material depositado à superfície. A esta circunstância se atribuiu a pequena eficiência de compactação conseguida em profundidade e que a fig. 5.2 evidencia.

ATERRO B

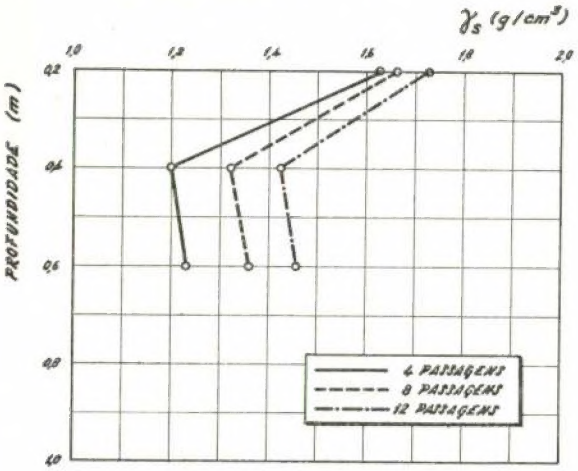


Fig. 5.2

Procedeu-se por isso à construção de novo aterro — aterro C — em que se procurou incrementar as operações que provocassem uma maior fracturação dos elementos alterados. Para tal, muito embora se continuasse a efectuar a compactação em camadas de 80 cm, cada camada era disposta em sub-camadas que recebiam, uma por uma, rega e revolvimento. Os terrenos foram

ATERRO C

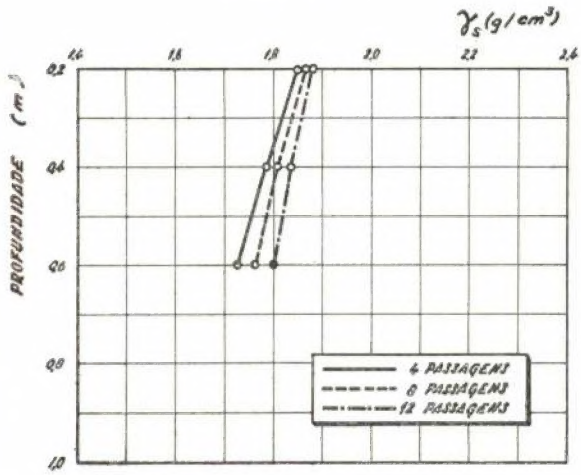


Fig. 5.3

escavados e transportados com «scrapers». A passagem dos «scrapers» sobre as sub-camadas aumentou sensìvelmente a mistura e homogeneização das terras. A fig. 5.3 mostra um resumo dos resultados apurados neste aterro. Conclui-se dos resultados nessa figura apresentados que o número de passagens, acima de 4, pouco aumenta a compactação conseguida. A degradação do efeito compactivo com a profundidade é também pouco acentuada.

Com as normas que se deduzem das conclusões expostas iniciou-se pròpriamente a colocação de terras em obra, sempre sujeitas a um muito apertado controle de compactação. Os controles foram efectuados, em toda a obra, sempre em três profundidades para cada camada colocada. Como padrão de compactação adoptou-se o Proctor pesado e impôs-se um mínimo de compactação relativa de 95 %.

As figs. 5.4 e 5.5 apresentam as cumulativas dos ensaios efectuados em obra, cerca de 1 por cada 500 m³ de aterro. Como dessas figuras se depreende é bastante pequena a diferença das médias dos resultados obtidos às profundidades controladas e são muito elevadas as compactações relativas obtidas. Os teores da humidade apresentam-se também com pequena dispersão em relação ao óptimo e pràticamente iguais às três profundidades controladas.

Uma característica sensìvelmente afectada pelos métodos de compactação usados em obra, em comparação com aquilo que se previra em fase de estudos preliminares, foi a permeabilidade. Constatou-se com efeito que, com o processo de compactação usado, se obtinham aterros apreciàvelmente mais permeáveis do que o aterro experimental construído na primeira fase dos estudos. Tenha-se presente que esse aterro fora construído usando cilindros pés-de-carneiro cujo efeito compactivo não é certamente superior ao cilindro vibrador, mas que provoca fragmentação muito mais intensa dos elementos alterados do solo, aumentando o teor de materiais finos, da dimensão argila e silte.

O controle sistemático da permeabilidade foi efectuado em obra com frequência de uma determinação por 5000 m³, por meio de ensaios de absorpção em furos curtos. Procurava-se que o comprimento de cada furo interessasse a última camada deposta e mais meia espessura da camada subjacente. Nestes ensaios introduzia-se água nos furos e media-se a velocidade de abaixamento da sua superfície. Por outro lado foram colhidas frequentemente amostras indeformadas nos aterros para determinação do coeficiente de permeabilidade em laboratório.

A interpretação dos ensaios de absorpção em